



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA KONEKTORU

MANUFACTURING CONNECTOR

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JIŘÍ KOČKA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské
technologie Akademický
rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Jiří Kočka

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Výroba konektoru

v anglickém jazyce:

Production of connector

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem práce bude návrh sdruženého nástroje (stříh - ohyb) pro výrobu konektoru

Cíle diplomové práce:

1. Zhodnocení současného stavu výroby součástí
2. Literární studie
3. Návrh technologie výroby
4. Konstrukční řešení nástroje
5. Ekonomické vyhodnocení
6. Závěr

Seznam odborné literatury:

- VESELÝ, Roman. Technologie slévání, tváření a svařování. Praha : České vysoké učení technické, 1996. ISBN 80-01-01420-7. 227 s. Vedoucí semestrální práce Ing. Tomáš Hrala..
- BIRZER, Franz. Forming and fineblanking. Landsberg : Verl. Moderne Industrie, 1997. ISBN 3-478-93161-4. 71 s.
- BOLJANOVIC, Vukota. Sheet Metal Forming Processes and Die Design. U.S. (USA) : Industrial Press Inc., 2005. ISBN 9780831132590. 400 s.
- BIRZER, Franz. Forming and fineblanking : cost-effective manufacture of accurate sheetmetal parts. 1st edition. Landsberg/Lech : Verl. Moderne Industrie, 1997. ISBN 3-478-93161-4. 70 s.
- ŠANOVEC, J., J. ČERMAK a L. MÁDLE: Mezní problémy a výpočetní technika ve tváření. Skriptum ČVUT, Praha 1989

Vedoucí diplomové práce: Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014. V
Brně, dne 20.11.2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

Děkan fakulty

ABSTRAKT

Kočka Jiří: Výroba konektoru.

Diplomová práce zpracovává návrh technologie výroby konektoru z bronzového plechu CuSn6 tloušťky 1,5 mm v sérii 1 600 000 kusů za rok. Z možných variant řešení způsobů výroby byla zvolena technologie stříhání, ohýbání a tváření závitu ve sdruženém postupovém nástroji. Pro výrobu součásti byl zvolen lis Bruderer 1250 se jmenovitou hodnotou lisovací síly 1250 kN od výrobce E. BRUDERER Maschinenfabrik AG. V ekonomickém zhodnocení byly stanoveny náklady na výrobu jednoho kusu 21,6 Kč/ks včetně požadovaného zisku výrobce a určen bod zvratu, který nastává po vyrobení 165 522 ks.

Klíčová slova: stříhání, ohýbání, tváření závitu, sdružený postupový nástroj, CuSn6, konektor.

ABSTRACT

Kočka Jiří: Make of connector

The diploma thesis deal with the proposal of connector manufacturing from bronze sheet CuSn6, thickness 1.5mm in production volume of 1.600.000 parts per year. From considered manufacturing variants there was chosen shearing and forming technology of thread in the progressive stamping die. For part production was selected pressing machine Bruderer 1250 with nominal pressing force 1250 kN from company E. Bruderer Maschinenfabrik AG. In the economical evaluation there were determined expenses 21.6 Kč per one piece including demanded profit. The turning point was calculated at production of 165.522 parts.

Keywords: shearing, bending, forming, thread, progressive stamping die, CuSn6, connector.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOČKA, J. *Výroba konektoru*. Brno, 2014. 68s, 5 výkresů, 6 příloh, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí diplomové práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V dne 21. 5. 2014

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Ladislavu Žákovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.

Obsah

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	8
1 ROZBOR ZADANÉ SOUČÁSTI	9
1.1 Výrobní možnosti	10
2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ	14
2.1 Průběh napjatosti střížného procesu	15
2.2 Střížná síla a práce	15
2.3 Kvalita střížné plochy v závislosti na střížné vůli	17
2.4 Střížné nástroje	20
2.5 Návrh stroje	34
2.6 Životnost a trvanlivost stříhadel	37
2.7 Těžiště střížných sil	39
2.8 Technologičnost výroby výstřížků	40
3 TECHNOLOGIE OHÝBÁNÍ	41
3.1 Rozvinutá délka výlisků	41
3.2 Minimální a maximální poloměr ohybu	42
3.3 Ohýbací síla a práce	43
4 TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ VNITŘNÍCH ZÁVITŮ	46
4.1 Technologie tváření vnitřních závitů	48
5 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTI	56
5.1 Stanovení délky rozvinutého tvaru	56
5.2 Volba postupu výroby	58
5.3 Volba polotovaru	59
5.4 Výpočet střížné a ohýbací síly	60
5.5 Výpočet těžiště nástroje	61
6 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	64
7 ZÁVĚRY	68

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam výkresů

Seznam příloh

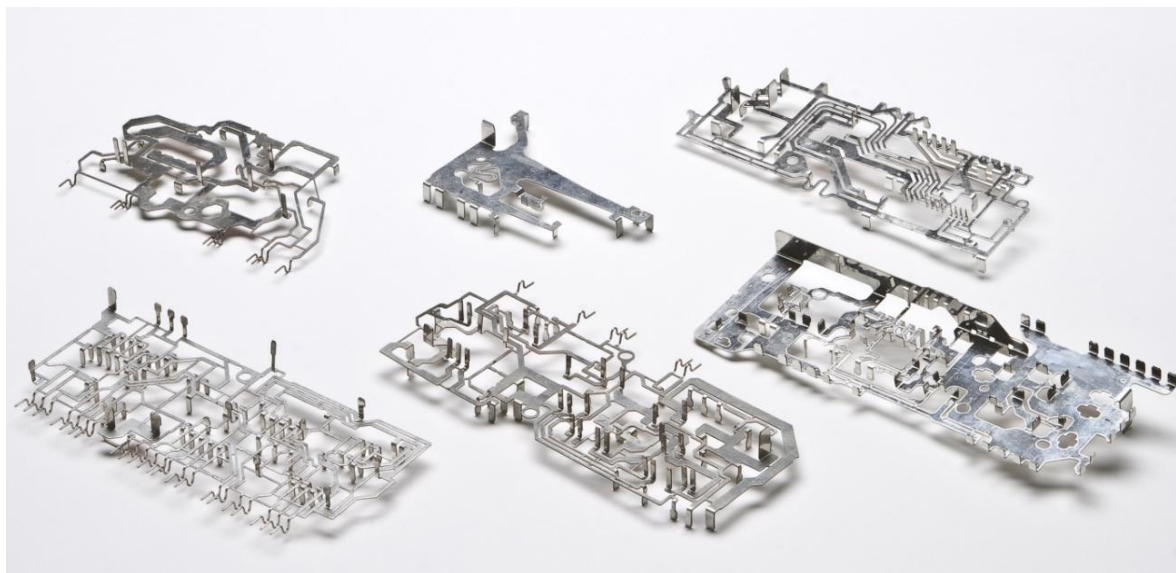
ÚVOD [60] [17] [22] [19] [34]

Od vyrobení prvního automobilu již uplynulo více než sto let. Během této doby prošel automobil mnoha vývojovými etapami, některé z nich byly zásadní více, jiné méně. Většina těchto zlepšení byla možná jen za pomoci elektroniky, která se již v dnešním vozidle bere jako samozřejmost.

Elektronické výrobky v automobilovém průmyslu mají oproti jiné standardní elektronice těžší pracovní podmínky (velké rozdíly okolních teplot, proměnná vlhkost ovzduší, silné působení vibrací apod.). Elektronické systémy slouží ke zvýšení bezpečnosti a hospodárnosti jízdy. Mezi hlavní bezpečnostní systémy patří ABS, ASR, ESP, ACC (Adaptive Cruise Control). Většina těchto systémů se skládá z řídicí jednotky a senzorů. Přenos elektrických signálů mezi těmito dvěma částmi se provádí vodiči. Spojení do jednoho elektrického obvodu je realizováno za pomoci konektorů nebo tzv. Stanzgitterů (STG). Jedná se o formu vodivých drah, které se vyrábí ve většině případů stříháním z plechu.

Stříhání kontaktů se rozumí takový proces, kdy z plechových polotovarů železných i neželezných kovů je za pomoci plastické deformace docíleno požadovaného tvaru dílce. Mezi plošné tváření patří technologie stříhání, ohýbání, tažení, kovotlačení atd.

Na obr. 1 jsou znázorněny příklady konektorových součástí.



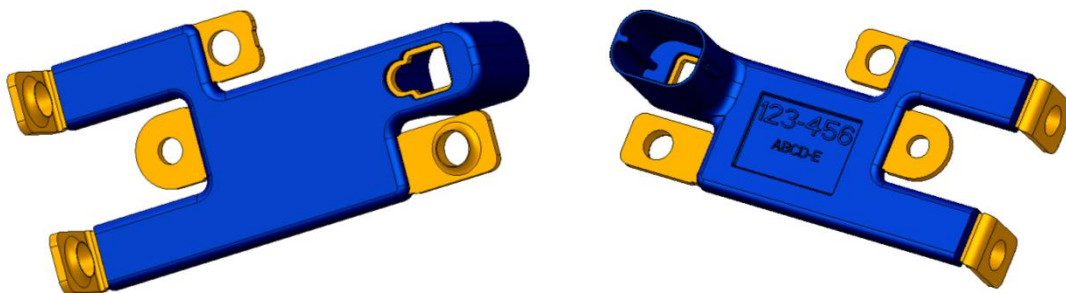
Obr. 1. Příklady vodivých drah s konektorovými výstupy [51]

1 ROZBOR ZADANÉ SOUČÁSTI [60] [34]

Zadanou součástí je konektor, který je použit v automobilech pod označením Stanzgitter. (obr. 2). Součást slouží k vedení elektrického napětí mezi vyhodnocovacími jednotkami systému airbag. Tvar zadané součásti je tvořen třemi vodivými drahami, které jsou navzájem propojeny tzv. spojovacími můstky, z nichž dva konektorové vývody jsou ohnuty do 90°. Na každé konektorovém vývodu se nachází jeden závitový otvor o velikosti M5, který zajistí pevné a stálé spojení s protikusem. Vodivé dráhy budou v následující operaci zastříknuty do umělé hmoty, aby bylo dosaženo jejich vzájemné elektrické izolace.

➤ Zhodnocení technologičnosti výroby zadané součásti

Rozměrová přesnost se pohybuje okolo stupně IT10 až IT11 a nejpřesnějším rozměrem na výkrese je šířka vývodních částí ($14 \pm 0,02$). Tloušťka vývodních částí konektoru je stanovena na rozměr $1,5 \pm 0,02$ mm. Délka ohnutých konektorů $18,5 \pm 0,1$ mm a velikost zbylých dvou otvorů je $7,9 \pm 0,02$ mm a $6,0 \pm 0,03$. Materiál zadané součásti musí být vyroben z vhodného elektricky vodivého materiálu, jakým je např. bronz nebo mosaz. V práci bude řešen výběr vhodné technologie a konstrukce nástroje pro výrobu konektoru.



Obr. 2. Zadaná součást

Stanzgitter, v anglickém jazyce „Lead Frame“ (STG), jak již bylo uvedeno výše, jedná se o formu elektrických vodivých drah. Důvodem vzniku této technologie byla snaha o nahrazení kabelových a tištěných spojů. Tato technologie našla svoje uplatnění v nejrůznějších oblastech hromadné výroby a není tedy divu, že i v automobilovém průmyslu, kde se nejprve objevila u pojistkových jednotkách. Postupným vývojem se vodiče rozšířily skoro do všech částí elektrického vybavení automobilu. Velkou výhodou těchto drah je jejich velká odolnost proti zatížení. U některých obvodů je zapotřebí pracovat i s proudem pohybujícím se okolo hodnot 100 A.

Oproti elektrickým kabelům je tato metoda technologicky náročnější, avšak její výhody a poměrně nízké náklady na výrobu u velkých sérií ji kladou jako vhodnější k použití přenosu elektrického napětí v automobilech.

➤ Výroba STG vodičů [34]

Hlavní metodou výroby STG vodičů je stříhání na postupové stříhadle a poté ohýbání ze svitku plechu. Vyrobená sekce se skládá z jednotlivých drah, které jsou spojeny s tzv. technologickými spojovacími můstky. Spojovací můstky slouží k optimalizaci výrobního cyklu v následujících operacích, poté dojde k jejich odstranění.

➤ Používané materiály [34]

V automobilech se u STG vodičů využívá několik skupin materiálů s různými kombinacemi povrchových úprav. Nejpoužívanějšími materiály pro výrobu STG vodičů jsou pocínovaná mosaz (CuZn) a pocínovaný bronz (CuSn).

Méně se pak využívá galvanicky upravená ocel. Volba druhu materiálu záleží na zadaných požadavcích pro danou elektrickou součást. Obecně platí propojovat stejné materiály se stejnými povrchovými úpravami. Pro dosažení lepších přechodových odporů a vyšších otěrových vlastností se používá zlcení či stříbření ploch kontaktů.

STG dráhy se často stříhají z předem pokovovaného polotovaru. Nevýhodou je poměrně náchylný povrch k poškrábání, ke kterému může dojít vlivem manipulace či střížného nástroje.

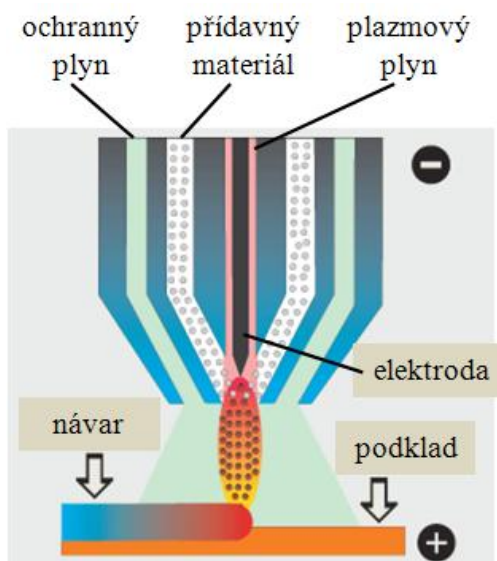
1.1 Výrobní možnosti [60]

Vybraná technologie výroby zadané součásti musí splňovat předepsanou kvalitu dílce a zároveň být vhodná z hlediska ekonomického. Na volbu technologie má vliv i množství vyráběných dílů. Zadaná součást je vyrobena z plechového polotovaru, který je po vyrobení rozvinutého tvaru ještě ohýbán a doplněn závity. K vyrobení rozvinutého tvaru lze aplikovat řada technologií, mezi které patří:

- Nekonenční:
 - řezání plazmou + další operace výroba závitu a ohýbání
 - řezání laserem + další operace výroba závitu a ohýbání
 - řezáním vodním paprskem + další operace výroba závitu a ohýbání
- Konvenční:
 - stříhání na postupovém nástroji + další operace výroba závitu a ohýbání
 - přesné stříhání + další operace výroba závitu a ohýbání
 - stříhání na postupovém sdruženém nástroji

➤ Řezání plazmou [60] [47]

K oddělení materiálu dochází paprskem vzniklým ionizací dvouatomových plynů (argon, dusík, vodík a kyslík), u kterých musí nejprve proběhnout disociace (rozložení molekul plynu na atomy). Uvolněné elektrony mají záporný náboj a vedou elektrický proud. Plazma bývá označována jako čtvrtý stav hmoty. K ionizaci plynů je zapotřebí značná energie. Nejčastěji se jako zdroj tepla používá elektrický oblouk. Zdrojem je stejnosměrné napětí nabývající hodnot 240-400 V. Rychlost řezání je závislá na tloušťce řezaného materiálu a velikosti napájecího zdroje. Teplota paprsku je závislá na stupni ionizace, běžně se pohybuje až kolem 16 000 °C. Výstupní rychlost plazmy z hořáku je 1 500 až 2 300 m/s⁻¹. Princip plazmového hořáku je zobrazen na obr. 3.



Obr. 3. Princip plazmového řezání [60]

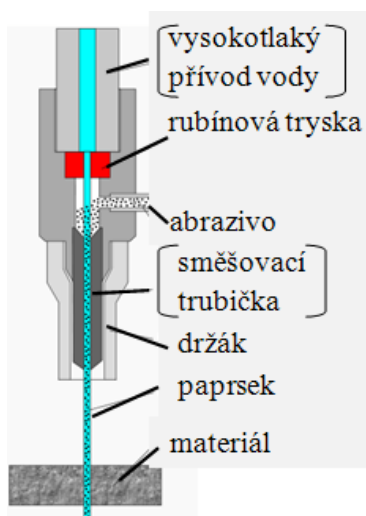
Výhody:

- vysoká řezná rychlost
- možnost automatizace
- řezání vysoce pevných konstrukčních ocelí
- řezání všech elektricky vodivých materiálů
- provoz jednoho či více hořáků

Nevýhody:

- obtížné propalování tloušťek nad 15 mm
- širší řezná spára
- zaoblení horní hrany

➤ Řezání vodním paprskem [54] [60]



Obr. 4. Princip řezání vodním paprskem [60]

Tato technologie patří mezi moderní metody a spočívá v dělení materiálu vysokotlakým vodním paprskem. Pracovní tlak vody je v rozmezí 750-4100 Bar. K dosažení takto vysokého tlaku jsou zapotřebí vysokotlaká čerpadla o průtoku vody 1,2-7,6 l/min, kdy paprsek vody vychází z řezací hlavy tryskou. Tato technologie s CNC řízením patří k nejvíce se uplatňující metodě v průmyslu. Využívá se zejména pro dělení materiálů, jakými jsou například slitiny hliníku, mědi, všechny typy ocelí, ale i na sklo, plasty, žulu, mramor. Měkké materiály lze řezat čistým paprskem vody a na tvrdší se používá vodní paprsek s abrazivem. Takto obrobený materiál nevykazuje chemické, fyzikální ani mechanické změny. Princip technologie řezání vodním paprskem je znázorněn na obr. 4.

Výhody:

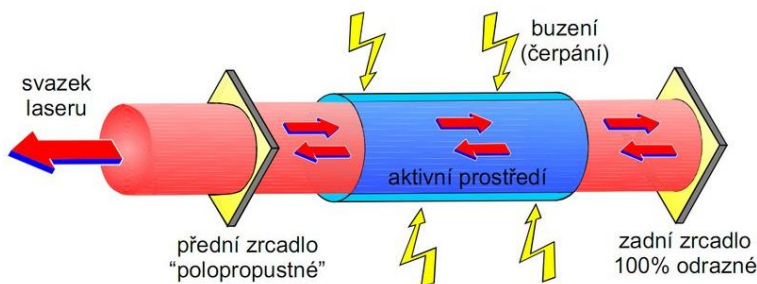
- nevznikají tepelně ovlivněné zóny
- úzká řezná spára
- řezání velkých tloušťek
- velká výrobní přesnost

Nevýhody:

- malá řezná rychlost
- kovové materiály nutno povrchově ošetřit
- velké provozní náklady
- hlučný provoz

➤ Řezání laserem [43] [60]

Tato technologie patří mezi progresivní metodu dělení materiálů, jakými jsou například oceli, plasty, dřeva, pryže. Řezání materiálů laserem je založeno na přeměně světelné energie na energii tepelnou, která ohřeje materiál v okamžiku na teplotu varu. Za působení tlaku plynu je roztavený materiál vyfouknut z místa řezu. Tato technologie s CNC řízením nabízí u většiny plechových dílů optimální ekonomické řešení i poměrně velikou přesnost vyrobených dílů. Princip zdroje laseru je zobrazen na obr. 5.

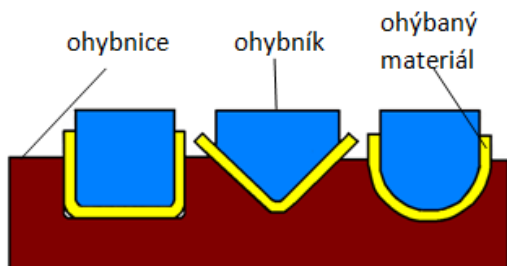


Obr. 5. Princip laseru [60]

Všemi výše uvedenými technologiemi lze vyrábět pouze ploché díly (rozvinutý tvar). Zadaná součást má tvar ohnutého plechového dílu se závitovými otvory. K vytvoření tohoto tvaru bude zapotřebí dalších operací, kterými bude dosaženo finálního tvaru a rozměrů. Ohýbání je technologie, kdy za působení ohybového momentu a síly je měněn trvale rovinný tvar polotovaru.

➤ Ohýbání [60] [18]

Ohýbání je technologie, u které dochází k tváření (ohýbání nebo rovnání) materiálu působením ohybové síly. Důvodem zařazení ohýbání mezi tvářecí technologie (plošné tváření) je nepatrná změna průřezu během ohýbání. Mezi základní rozdělení ohýbání patří:



Obr. 6. Princip ohýbání [60]

Ohýbání je zapotřebí mít určitou mezeru, která bývá označována jako ohybová vůle. Princip ohýbání je znázorněn na obr. 6.

Výhody:

- řezání malých tvarů
- řezaný povrch je téměř pravoúhlý
- velká řezná rychlost
- velká přesnost vyráběných dílů
- malá šířka řezné spáry

Nevýhody:

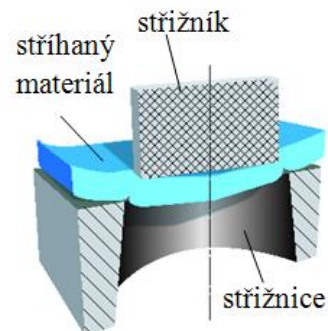
- velké provozní náklady
- menší účinnost
- omezení tloušťky materiálu
- snížený stability u lesklých povrchů

- ohýbání lokálními silami,
- ohýbání vnějšími momenty.

Ohýbání vnějších momentů se dále dělí na kombinace ohýbání stlačováním nebo s tavením. Nejčastější metodou je ohýbání za studena. Primárně se provádí do tvaru „U“ a „V“. Princip ohybu spočívá v působení ohybníku na ohýbaný materiál podepřený ohybnicí. Mezi těmito třemi

Stříhání [60] [8]

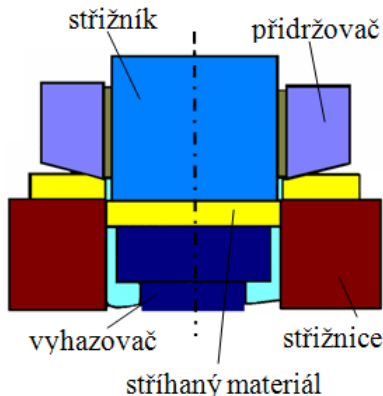
Stříhání je často používaná technologie sloužící ke zpracování plechů ve strojírenském průmyslu. Používá se pro přípravu polotovaru i finálních dílců, které se nazývají výstřížky. Na stříhaný materiál působí břity střížníku a střížnice, tak aby došlo ke vzniku trhlin a posléze k ustřížení materiálu v určité střížné ploše (obr. 7). Aby bylo dosaženo co nejlepšího stříhu, je potřeba dodržet určité podmínky. Nejdůležitější z nich je zvolení optimální střížné vůle, zaručující spojení mikrotrhlin v jednom bodu. Nástroje, na kterých se provádí stříhání, se nazývají stříhadla.



Obr. 7. Stříhání kovů [60]

Výroby výstřížku požadované kvality a tvaru je v postupovém střížném nástroji dosaženo v několika krocích. Protože zadaným dílem je ohnutá součást z plechu, je zapotřebí další operace, a to ohýbání. Princip a základní požadavky této technologie byly popsány již výše. Důvodem častého používání postupových sdružených nástrojů je možnost zahrnout několik technologií (stříhání, ohýbání, tažení) do jedné operace (snížení počtu výrobních operací). Takovýto nástroj je pochopitelně větší a tím jsou větší i pořizovací náklady.

➤ Přesné stříhání [60] [25] [18]



Obr. 8. Princip přesného stříhání [60]

Jedná se o technologii, která se používá u dílců, u nichž je požadovaná kolmá střížná hrana k rovině plechu. Kolmé střížné hrany je dosaženo vznikem trojosé napjatosti a tím i rozšíření plastického stříhu na celou tloušťku materiálu. Dříve než dojde ke stříhu, tak se do materiálu zatlačí tlačná hrana, která se nachází na čelní ploše přitlačné desky podél stříhaného obvodu (obr. 8). U těchto stříhadel je prakticky nulová střížná vůle. Lis kromě síly potřebné ke stříhu materiálu přenáší i síly k sevření a vtlačení tlačné hrany. Dílce vyrobené přesným stříháním dosahují lepší kvality střížné plochy a přesnější výstřížky.

Výhody:

- Možnost stříhání větších tloušťek
- Kvalitnější střížná plocha
- Větší přesnost

Nevýhody:

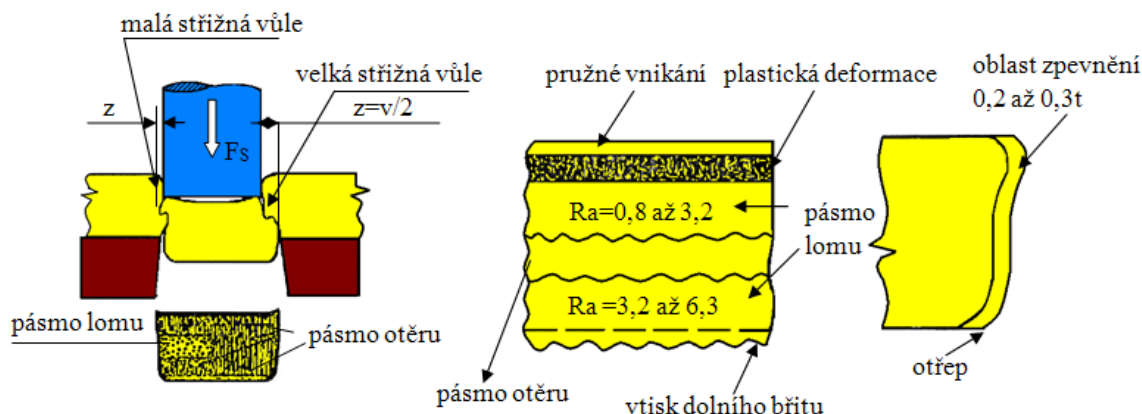
- Dražší pořizovací náklady
- Pomalejší kadence

Nejpoužívanějším typem nástrojů pro přesný stříh jsou nástroje postupové. Výstřížek je vyroben za několik zdvihů lisu. Jelikož zadaným dílem je ohnutá součást z plechu, je zapotřebí další operace, nebo speciálně upraveného nástroje.

Z výše uvedených způsobů výroby zadané součásti byla vybrána jako nejvhodnější technologie stříhání a ohýbání ve sdruženém nástroji. Teoretická část této práce bude zaměřena na tyto způsoby výroby.

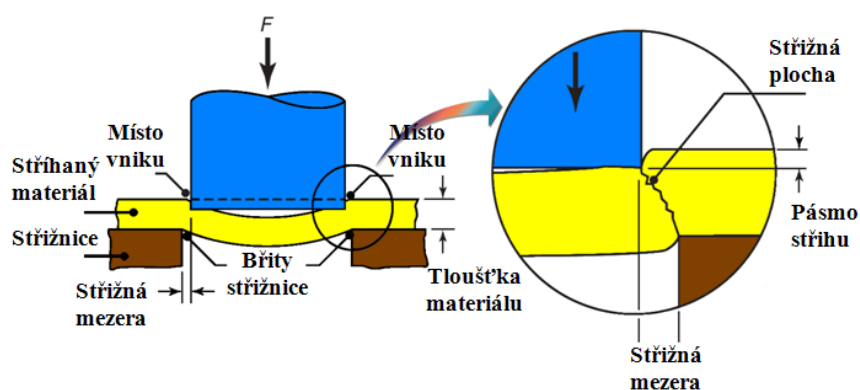
2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ [8] [60] [22] [17]

Proces stříhání začíná dosednutím střižníku na stříhaný materiál a končí ostřížením (vystřížením) samotného materiálu. Průběh stříhu lze rozdělit na tři fáze (obr. 9). Střižník vyvolá po dosednutí na stříhaný materiál napětí, které je menší než mez pružnosti (nastává pružná deformace). Tuto část označujeme jako první fázi. Velikost první fáze je závislá na



Obr. 9. Popis střižné plochy [60]

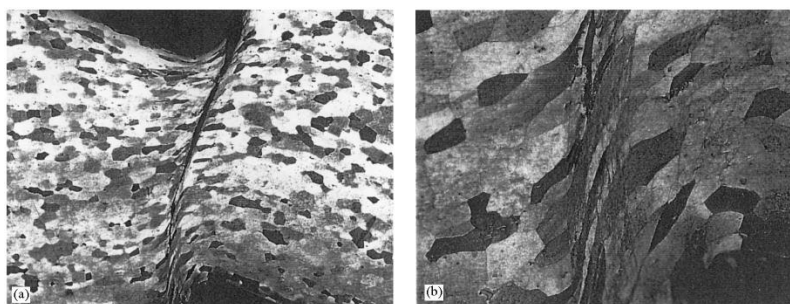
mechanických vlastnostech stříhaného materiálu. Bývá okolo 5-8% tloušťky materiálu. Vzniklé silové dvojice mezi kolmými rovinami způsobí ohyb materiálu. Na straně střížníku vzniká na materiálu zaoblení a na straně střížnice naopak vytlačení materiálu. V okamžiku, kdy překročí napětí mez vkluzu, dochází k trvalé deformaci materiálu. Hloubka vniknutí



Obr. 10. Popis střižného procesu [60]

označujeme jako fázi tři (běžně okolo 10-60% tloušťky materiálu v závislosti na velikosti střížné mezery).

Jako první vzniknou mikroskopické, následně makroskopické trhliny u hran střížniku a střížnice (obr. 11). Trhliny se

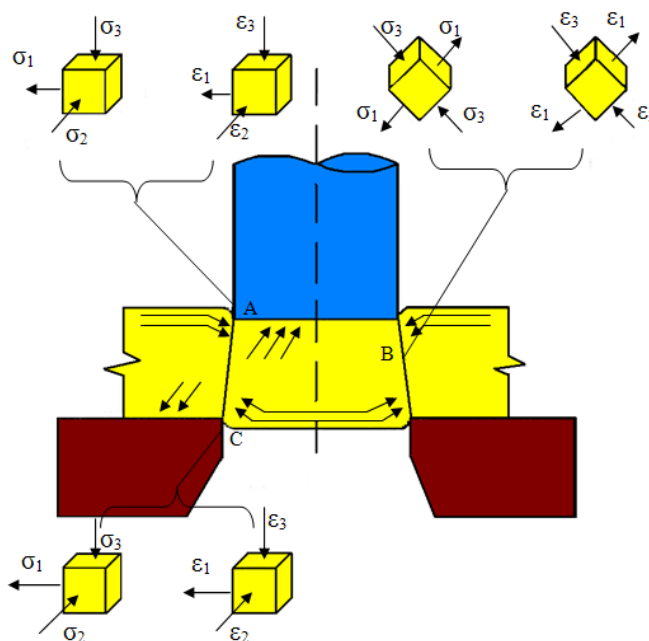


Obr. 11. Vznik mikroskopické trhliny [60]

rychle prodlužují až do chvíle, kdy dojde k oddělení výstřižku (obr. 10). Rychlost zvětšování trhlin je závislá na vlastnostech stříhaného materiálu. Materiály tvrdé a křehké se oddělí prakticky okamžitě, zato houževnaté poměrně pomalu. Při zvolení správné střížné vůle se trhliny od střížných hran setkají a vytvoří tím jednu plochu (střížná plocha). Při zvolení špatné střížné vůle se trhliny nesetkají a vytvoří se tím nerovnoměrný povrch a ostřiny. U malé střížné vůle je stříhaný materiál deformován a stříhán „podruhé“, aby došlo k úplnému oddělení materiálu, musí střížník jít až do úrovně střížnice.

2.1 Průběh napjatosti střížného procesu [60] [22] [7] [16]

Během stříhání vzniká deformace a napětí, které je charakterizováno mechanickými průběhy na obr. 12. V místě dotyku střížníku s materiálem (bodu A) vzniká napjatost, která není stejnorodá. V tomto místě působí jedno tahové a dvě tlaková napětí. Odpovídající rovnice deformace je prostorová a nestejnorodá. Maximální tahové napětí „ σ_1 “ odpovídá pevnosti materiálu ve stříhu τ_s . Na základě praktických zkoušek bylo dokázáno, že velikost tlakového napětí „ σ_3 “ je přibližně poloviční oproti tahovému napětí „ σ_1 “. Se vzrůstající hodnotou tloušťky stříhaného materiálu klesá velikost tlakového napětí, a to až na hodnotu nula. V takový okamžik lze uvažovat o rovinném stavu napjatosti. Složka deviátoru a středního napětí nejsou nulové, a proto je v bodě „A“ prostorová deformace. Ze součtu složek uvažovaných napětí v bodě „A“ je vidět, že kolmo na rovinu maximálního smykového napětí působí normálová síla „ σ_n “ nabývající kladných hodnot. Tato složka napomáhá k šíření trhlin i jejich rozevírání. Změnou orientace vrstevnic plechu od střížné hrany do středu vzniká plocha ve tvaru „S“. Vzájemný poměr mezi hlavními napětími „ σ_1 “ a „ σ_3 “ se směrem do středu střížné plochy mění. V bodě „B“ dochází k prostému smyku. V bodě „C“ dochází k nestejnorodé prostorové napjatosti obdobně jako v bodě „A“.



Obr. 12. Schéma napjatosti a deformace při běžném uzavřeném stříhání [60]

2.2 Střížná síla a práce [8] [60] [25] [18] [44]

K vytvoření výstřižku je zapotřebí vyvinout určitou sílu, a to střížnou. Tuto sílu vykonává lis. Pokud by střížná síla přesáhla jmenovitou sílu lisu, mohlo by dojít k jeho poškození. Tomu lze zabránit, jestliže známe přesnou velikost střížné síly i její průběh. Střížná síla je dána součtem dvou proměnných veličin (střížná plocha a střížný odpor). U křehkých materiálů dochází k ustřížení materiálu při nepatrném vniknutí střížníku do materiálu. U měkkých materiálů (rozdíl mezi pevností v tahu a mezí materiálu je výrazný)

musí střížník vniknout hlouběji. V rozmezí od meze kluzu do meze pevnosti se mění střížný odpor. Z toho vyplývá, že na hloubce vniknutí střížníku do materiálu je závislý střížný odpor. Střížný odpor se běžně pohybuje okolo 0,7-0,75 (meze pevnosti). Střížná síla se vypočítá dle vztahu (2.1.).

$$F_K = n \times L \times t \times \tau_s = [N] \quad (2.1.)$$

kde:

F_s – střížná síla [N]

L – je délka křivky stříhu [mm]

h_s – je hloubka vniknutí [mm]

n – (1,0 až 1,3) koeficient zahrnující vliv vnějších podmínek při stříhání (zhoršení kvality střížných hran, nerovnoměrnost tloušťky materiálu)

obr. 13 znázorňuje průběhy střížných sil u různých materiálů. Z diagramu je vidět, že velikost střížné síly se podobně jako u zkoušky tahem mění. V tomto diagramu nejsou zahrnuty všechny

parametry (například tření mezi střížníkem, střížnicí a stříhaným materiálem).

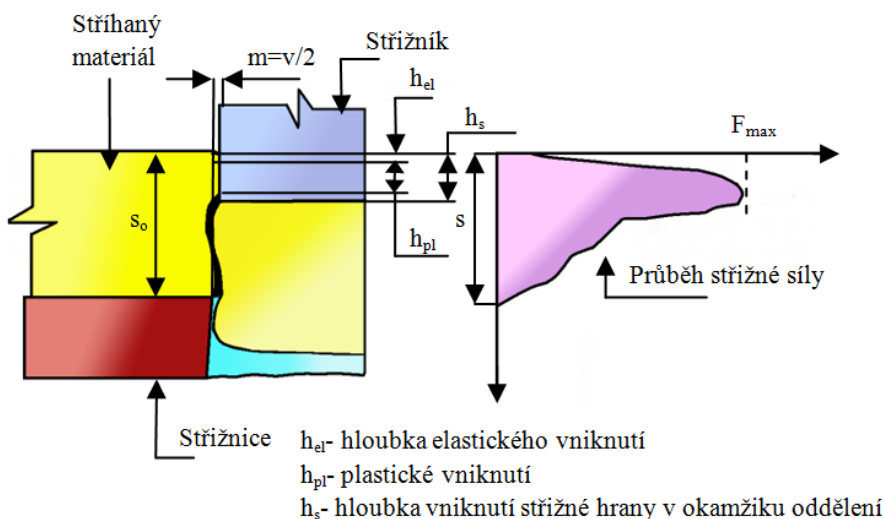
Pevnost stříhu se nejčastěji určuje z pevnosti materiálu v tahu. Dalším důležitým faktorem ovlivňujícím

velikost střížné síly je velikost otupení střížných hran.

S rostoucím třením mezi střížnou

hranou

a materiálem nastává otupení.



Obr. 13. Schéma průběhu střížné síly [60]

➤ STŘIŽNÁ PRÁCE [8] [60]

Střížná práce je přímo úměrná střížné síle a velikosti vtlačení střížníku do materiálu. Se zmenšující střížnou vůlí se součinitel hloubky vtlačení zvětšuje. Protože stříhaný materiál má svou výrobní toleranci tloušťky a pevnosti, nejsou výpočty vždy zcela přesné, a proto je zapotřebí počítat s určitou rezervou (až 10 %). Použitím pružin ve střížném nástroji se práce zvyšuje o sílu potřebnou k jejich stlačení (okolo 20 %). Střížná práce se vypočítá dle vztahu (2.2.).

$$A = \lambda \cdot F_s \cdot t = [J] \quad (2.2.)$$

kde:

A – střížná práce [J]

F_{smax} – maximální střížná síla [N]

λ – součinitel plnosti diagramu (nabývá hodnot od 0,4-0,7)

➤ Střížný odpor

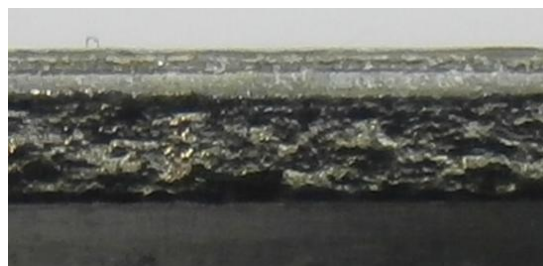
Střížným odporem se rozumí schopnost stříhaného materiálu bránit se proti oddělení. Mezi největší činitele, které mají vliv na velikost střížného odporu, patří mechanické vlastnosti stříhaného materiálu. U materiálu s větší pevností a menší tvárností roste střížný odpor. Se zvětšující tloušťkou materiálu a s rostoucí křivkou stříhu se střížný odpor zmenšuje. Při dodržení optimální střížné vůle je střížný odpor nejmenší. Velký vliv na střížný odpor mají také střížné podmínky, mezi které patří rychlost stříhání, velikost tření, druh mazání, stav střížných hran, chlazení apod. Pozn. s rostoucí rychlostí stříhu roste i střížný odpor. Zvolením vhodného maziva střížný odpor klesá.

2.3 Kvalita střížné plochy v závislosti na střížné vůli[8] [60]

Klasickým způsobem stříhu nelze dosáhnout zvláště dobré kvality povrchu stříhu. Střížná plocha je mírně zkosená a má drsný povrch s ostřinou na konci. Materiál výstřížku je na okraji zpevněn. U stříhu se dá dosáhnout běžně drsnosti Ra 3,2-6,3; u ostřihování a děrování Ra 2,5-6,3. Plocha výstřížku i stříženého otvoru má podobný tvar, jak naznačuje obr. 15 (zaoblená hrana po stříhu na straně střížnice a otvoru na straně střížníku).

Kvalita a přesnost při stříhání závisí na:

- vlastnosti stříhaného materiálu,
- druhu nástroje,
- tvaru stříhané součásti,
- kvalitě povrchu činných částí.

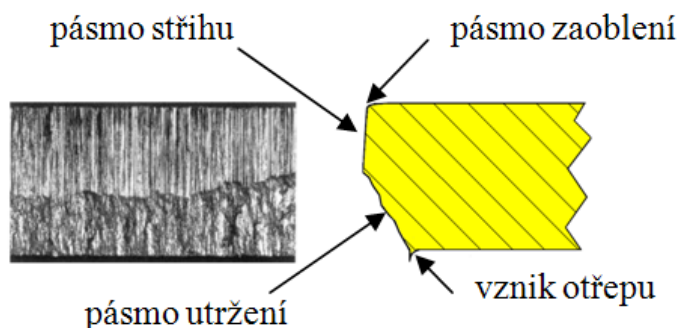


Obr. 14. Vzhled střížné plochy

Velikost nerovnosti střížné plochy (obr. 14) je dána především střížnou mezerou.

S jejím růstem se zvětšuje i nerovnost střížné plochy. S klesající tvárností stříhaného materiálu a zmenšující mezerou se zmenšuje poloměr zaoblení r . Nerovnost střížné plochy je závislá na tvaru střížné čáry. K většímu zaoblení dochází u pozitivního zakřivení stříhaného tvaru a zvětší se i pásmo usmyknutí, obzvláště u materiálů s malou tvárností viz tab. 1. V okamžiku, kdy je použito velkého negativního zakřivení a tvárného materiálu, lze

pásmo usmyknutí zcela odstranit.



Obr. 15. Tvar střížné plochy [60]

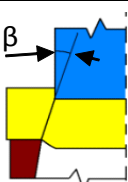
ve kterém ostřina dosáhla maximální hodnoty, poté je zapotřebí přeostržení střížníku a střížnice. Pokud není ve výkresu uvedeno jinak, tak se maximální velikost ostřiny

U stříhaných dílců vznikají vždy na střížných plochách a střížných hranách ostřiny. Stav střížníku a střížnice a stejně tak druh maziva má největší vliv na velikost a tvar ostřiny. Provedenými zkouškami bylo zjištěno, že se zvětšující rychlostí stříhání lze docílit zmenšení ostřiny. Životnost střížného nástroje je okamžik,

stanovuje z normy ČSN 22 6015. Použitím vhodného maziva lze výrazně zmenšit velikost ostřiny. Velikost ostřin se měří dnes již na kamerových mikroskopech. Současným trendem je neustálé zmenšování výrobních tolerancí včetně velikosti ostřin. Je zapotřebí si uvědomit, že technologií stříhání je technicky nemožné vyrobit výstřižek bez ostřin.

Dále mezi význačnou složku kvality povrchu patří zpevnění materiálu, které vznikne při stříhání vnitřního nebo vnějšího tvaru okolo čáry stříhu. Stříhaný kov zvětšuje svůj odpor proti vznikající plastické deformaci a tím dochází k jeho zpevnění. Toto zpevnění má vliv

Tab. 1. Velikost úhlu usmyknutí [8]

Úhel usmyknutí β		
	Druh oceli	Úhel [°]
	Měkká ocel	5 až 6
	Středně tvrdá ocel	4 až 5
	Tvrdá ocel	4

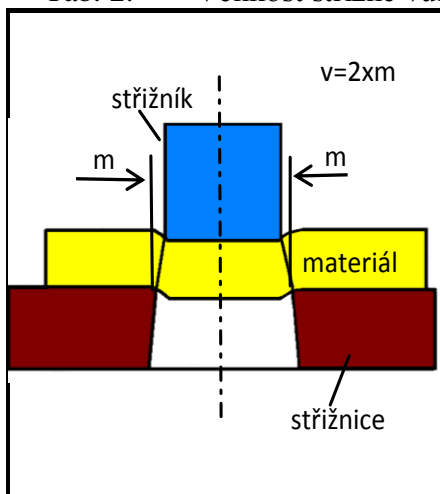
na mechanické vlastnosti materiálu v blízkosti střížné plochy (zvětšení pevnosti, meze kluzu a zmenšení tažnosti). Velikost zpevněné části je závislá na tloušťce materiálu, velikosti střížné mezery a stavu činných částí. U většiny výrobků nemá toto

zpevnění vliv na další zpracování. Je-li kladen veliký důraz na čistý a kvalitní povrch stříhu nebo větší přesnost výstřižku, tak se používá tzv. přesného vystříhování nebo přistříhování. Tento způsob lze aplikovat jen u měkkých ocelí či neželezných kovů. Vyšší náklady na tyto nástroje jsou důvodem pro použití při větších sériích.

➤ Střížná vůle [8] [60]

U stříhání má střížník menší rozměr než je otvor ve střížnici. Na konci stříhu vniká střížník do střížnice s vůlí na každé straně. Tato vůle je označena jako střížná. Střížná mezera je dána jednostranným rozdílem. Velikost mezery by měla být na všech stranách stejná. Dodržením správné střížné vůle zajistíme setkání trhlín, které při stříhání vznikají, a také správné usmyknutí střížné plochy. Velikost střížné vůle má velký vliv na velikost střížné síly, kvalitu střížné plochy, velikost ostřin a trvanlivost funkčních částí. Se zmenšující vůlí se střížná síla zvýší nepatrně, ale střížná práce se zvětší až o 40 %. Střížná vůle se vůlí na úkor střížnice nebo střížníku vzhledem k rozměrům výstřižku. U děrování je střížná vůle na úkor střížnice a u ostříhování na úkor střížníku. Při nedodržení rovnoměrné střížné mezery po obvodě vznikají ostřiny a povrchové vady (menší kvalita střížné plochy). Ke stejným závadám dochází i utopením funkčních částí. Stanovení velikosti střížné vůle závisí na více činitelích (tloušťka a druh materiálu). Nejčastěji se stanovuje v % tloušťky stříhaného materiálu. Volí se přibližně podle tab. 2., kde jsou dolní hodnoty pro tenké plochy. U nástrojů s požadavkem dlouhé životnosti je střížná vůle zvolená na nižších hodnotách, aby při postupném opotřebování bylo dosaženo delší trvanlivosti. Výpočet střížné vůle podle Oehlerera.

Tab. 2. Velikost střížné vůle na druhu materiálu [60] [8]

	Střížná vůle(%t)	
	do 2,5 mm	2,5 až 6 mm
Ocel měkká	5	7 až 9
Ocel středně tvrdá	6	6 až 8
Ocel tvrdá	7 až 9	7 až 10
Hliník	4 až 7	5 až 9
Dural	7 až 8	7 až 10
Měď měkká	4 až 5	5 až 6
Měď polotvrdá a tvrdá	6 až 7	6 až 7
Mosaz měkká	4 až 5	4 až 6
Mosaz polotvrdá a tvrdá	5 až 6	5 až 7
Papír, lepenka	2 až 3	3
Fíbr, textil	2 až 4	---

Výpočet střížné mezery se dá stanovit podle vztahu Oehlera.

Pro tloušťku plechu do 3 mm se vypočítá střížná vůle dle vztahu (2.3.):

$$m = \frac{v}{2} = 0,32 \times c \times t \times \sqrt{k_s} = [mm] \quad (2.3.)$$

Pro tloušťku plechu nad 3 mm se vypočítá střížná vůle dle vztahu (2.4.):

$$m = \frac{v}{2} = 0,32(1,5 \times c \times t - 0,15)\sqrt{k_s} = [mm] \quad (2.4.)$$

kde:

v - střížná vůle [mm]

t - tloušťka stříhaného materiálu [mm]

k_s - střížný odpor [MPa]

c = (0,005 až 0,025) součinitel závislý na stupni stříhu

Ke kvalitnějšímu povrchu se volí nižší hodnoty součinitele. Jeli zapotřebí co nejnížší střížné síly, volí se koeficient vyšší. Zvolení správné střížné vůle je individuální a záleží na funkci střížného nástroje. U zaoblených nebo otupených břitů musí být střížná vůle větší. Při velké střížné vůli dochází k prohnutí stříhaného materiálu. Malá střížná vůle má za následek přestřížené a ohlazené prstence.

Technologičnost stříhání [8] [60]

Konstruktery navržená součást musí mít takové rozměry a tvar, aby bylo možné ji zhotovit při co nejchopodárnějších nákladech. Zároveň musí být splněny všechny provozní a technické požadavky. Technologičnost má velký vliv na velikost výrobní série, strojní vybavení daného podniku a odbornost pracovníků. Součást, která je vhodná pro malosériovou výrobu, nemusí být vhodná pro velkosériovou výrobu a naopak. Pro zlepšení technologičnosti je zapotřebí vymezit určitá pravidla. Takovéto požadavky u zvolené technologie by konstrukter měl znát. Daná součást by se měla kromě technických a funkčních požadavků podřítit i racionální konstrukci jak u nástroje, tak i vlastní součásti.

Na technologičnost dané součásti má největší vliv konstrukter, a to hned při jejím návrhu. Pozdější konstrukční a technologické úpravy už většinou nemají velký vliv na celkovou změnu tvarů. Získané zkušenosti zatím dokazují, že konstrukter je sice první a nejdůležitější činitel, ale pro dobrou technologičnost je zapotřebí spolupráce všech

zástupců výroby, proto aby byly zapracovány jejich požadavky. Takováto spolupráce vede k nižším nákladům na materiál, nástroj i součást.

2.4 Střížné nástroje [60] [8] [25] [18] [44] [42]

Dle ČSN 22 6001 jsou stříhadla zařazena mezi tvářecí nástroje. Mezi nejdůležitější části nástroje patří střížníky a střížnice. Dělený materiál je umístěn na střížnici a mezi jednotlivými zdvihy beranu vykonává posuv. Toho se docílí manuálně nebo za pomoci automatického podávacího zařízení. Přesné ustavení materiálu v nástroji je provedeno vodíci piloty, lišty a hledáčky, kteří zajíždí do vystřiženého otvoru. Stříhadla mohou být vybavena různými zařízeními, která zlepšují činnost a bezpečnost nástroje (senzory a čidla).

Pro vystřihování jednoduchých tvarů z plechu, kde není požadována přesnost a kvalita výstřížku, se používá jednoduché stříhadlo. Posuv se provádí ručně a poloha je zajištěna pevným koncovým dorazem.

Na postupné stříhání se používá postupové stříhadlo. Nejprve se vystřihuje otvor pro hledáček, poté se stříhají zadané části. Když se zakládá nový pás materiálu, je použit načínací doraz, který se nachází za prvním střížným otvorem.

Sloučené stříhadlo - vyrobí na jeden pracovní zdvih nástroje děrování a vystěhování.

Sdružené stříhadlo - sdružuje minimálně dva úkony, kterými jsou např. stříhání, děrování a ohýbání

Pozitivem klasických střížných nástrojů je jejich velká životnost. Tato stříhadla nejsou vhodná u malých sérií, jelikož jejich náklady na výrobu jsou vysoké. Dle velikosti výrobní série a kvality výstřížku se volí druh správného stříhadla. Konstrukce stříhadel se řeší tak, aby po vyrobení potřebného počtu výstřížků byly bříty střížníky a střížnice opotřebovány. Cena stříhadla by neměla být vysoká. Dodržení těchto podmínek lze splnit dvěma způsoby:

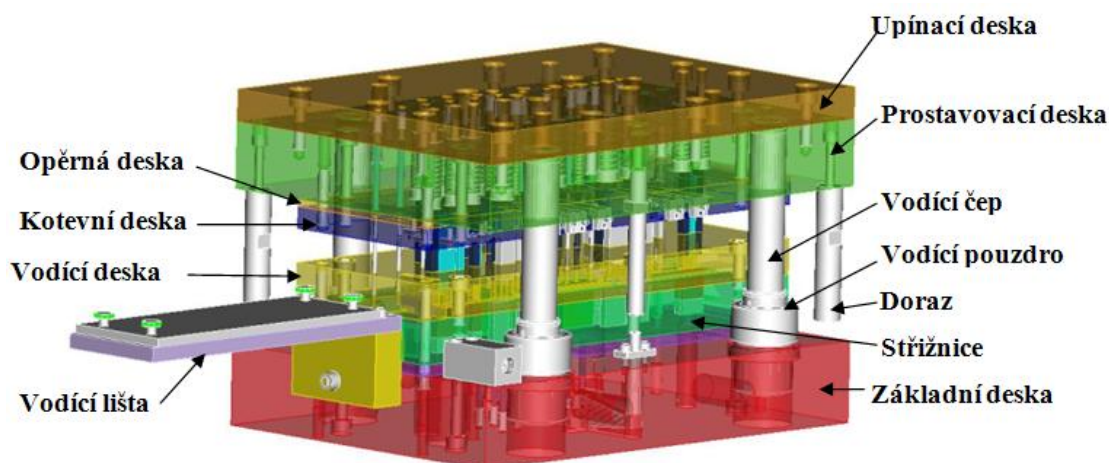
- vyrobení výstřížku na univerzálních vyměnitelných stříhadlech nebo na stavebnicových děrovaadlech
- vyrobením na jednoduchých speciálních stříhadlech

Výběr správného druhu stříhadla ovlivňuje mnoho činitelů. Na základě vyhodnocení těchto činitelů zvolíme správný typ stříhadla.

Stříhadlo musí splňovat tyto podmínky:

- Technické zásady zaručující správnou funkčnost, pro kterou je navržen.
- Ekonomické zásady zaručující maximální využití materiálu a minimální náklady.
- Společensko-ekonomické zásady umožňující vytvářet nové výrobní a kulturní prostředí.

Spodní část nástroje se skládá ze základní desky, kalené podložky, střížnice a vodící desky. Tyto části nástroje jsou navzájem skoličkovány a sešroubovány. Horní část nástroje se skládá z upínací, opěrné a kotevní desky. Tyto části nástroje jsou opět navzájem skoličkovány a sešroubovány. Popis a názvy jednotlivých desek stříhadel udává norma ČSN 22 6707 (obr. 16).



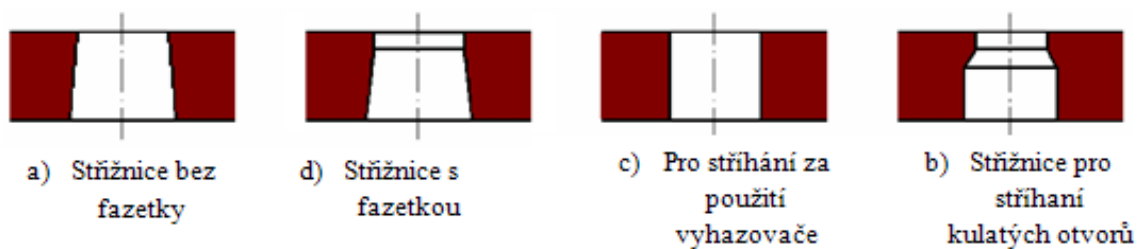
Obr. 16. Schéma postupového stříhadla [60]

Střížnice [60] [58] [8] [13]



Obr. 17. Střížnicí vložka

Mezi nejnákladnější a nejnamáhavější část střížného nástroje patří střížnice (obr. 17). Tato část nástroje může být řešena z jednoho kusu, označená jako střížnice celistvá pro využití v malosériové výrobě, nebo skládaná z více kusů a vložkováná pro využití v sériové výrobě. Přednost kusového rozložení střížnic spočívá v efektivním využití času údržby ve výrobě. Pokud dojde k otupení některé z vložek (část) střížnic, stačí přeostrit tu danou část, anebo vyměnit za novou. Výroba střížnice se provádí řezáním drátovou elektrodou. Profil řezaného otvoru může mít podle normy ČSN 22 6060 několik tvarů, které jsou zobrazeny na obr. 18. V případě použití fazety veliké okolo jednoho milimetru se na jejím konci otvírá střížnice pod úkošem 3° . Dalším způsobem je stříhání bez fazety střížnice, která se od začátku otvírá pod úkošem 10° . Tento způsob je výrobně jednodušší, avšak jeho nevýhodou je zvětšování střížné vůle po dalším ostření střížnice.



Obr. 18. Tvary střížnic [60]

➤ Střížníky [60] [58] [8] [13]

Mezi nejnamáhavější části střížného nástroje patří střížníky. Z hlediska předpokládané nulové vůle ve vodící desce lze očekávat riziko zadření střížníku a způsobení trvalého poškození vodící desky i střížníku. Abychom se vyvarovali tohoto poškození, je nutno tyto části ošetřovat nanášením speciálních mazacích past s vynikajícími mazacími vlastnostmi eliminujícími působení velkých teplot a tlaků. V dnešní době je na trhu široká nabídka „přesných dílů“, ne jen normalizovaných viz obr. 19. Zákazník má možnost si vybrat velikost, tvar a materiál, ze kterého je střížník vyroben, současně i způsob uchycení střížníku. Tvarově složitější razníky, které nelze pořídit jako normalizované, se dají řezat z předem zušlechťeného polotovaru drátovou elektrodou, která má standardně průměr 0,2 mm. Správnou volbou materiálu aktivních střížných prvků v závislosti na stříhaném materiálu se dosáhne vysoké kvality výstřižků, především prodloužení životnosti střížných prvků. Výběrem ze širokého sortimentu materiálu můžeme dnes určit správnost a vhodnost použití těchto materiálů pro výrobu střížných prvků. Tvrdost dřívku střížníků se pohybuje 58-62 HRC a kotvící hlava je vyžehána na 45 HRC. Stále větší uplatnění v praxi má povlakování funkčních střížníků. Tím se zvyšuje otěruvzdornost materiálu. Nedílnou součástí snížení nákladů na střížné prvky je správné vedení nástroje v pozici střížníku vůči střížné desce (střížnému pouzdru). Úpravou čela střížníku se dosáhne snížení velikosti střížné síly. Příklady výběru střížníků a způsoby vhodného použití viz obr. 20. Uchycené střížníky v kotvící desce jsou dotlačeny o opěrnou desku. Příklady způsobu kotvení střížníků jsou pro názornost zobrazeny na obr. 21. V momentu stříhu bývá každý střížník namáhán a tím roste i riziko tzv. vzpěru neboli vybočení. Se zvyšující se délkou střížníku se zvyšuje také nebezpečí jeho vybočení a následně může dojít k jeho zničení. Pro snížení tohoto rizika je nezbytné spočítat kritickou délku střížníku dle vztahu (2.6.). Pro dosažení výpočtu kritické délky je nejprve nutné provést výpočet kvadratického momentu dle vztahu (2.5.).



Obr. 19. Normované střížníky [60]

➤ Výpočet kvadratického momentu pro kulatý střížník.

$$I = \frac{\pi \times d^4}{64} = [mm] \quad (2.5.)$$

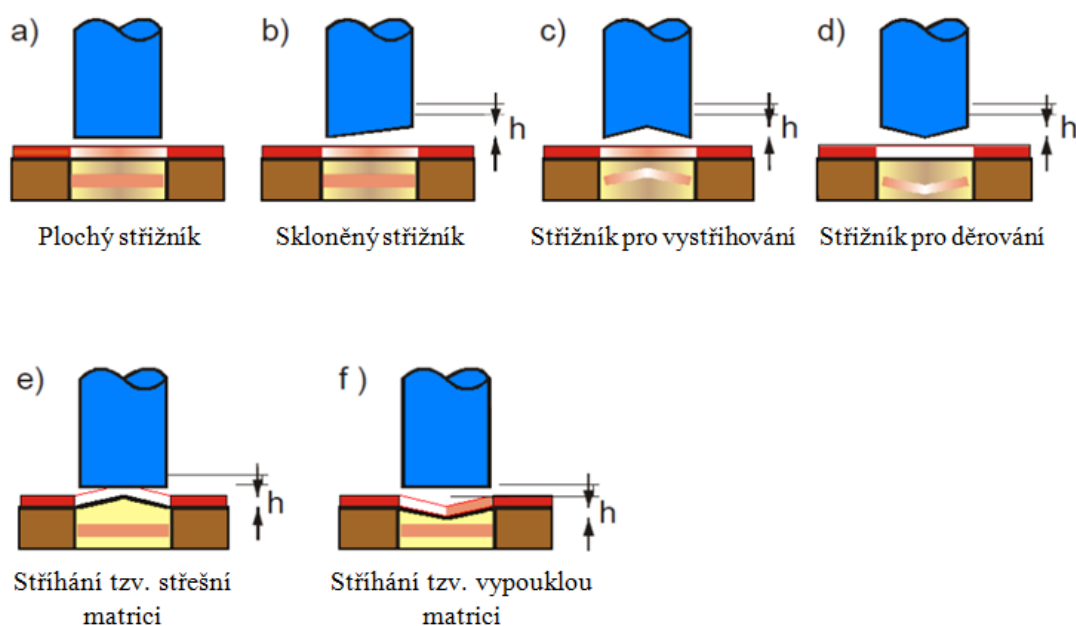
➤ Výpočet kritické délky střížníku:

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \times \pi^2 \times E \times I}{n \times O \times t \times \tau_s}} = [mm] \quad (2.6.)$$

kde:

I - kvadratický moment [mm^4],

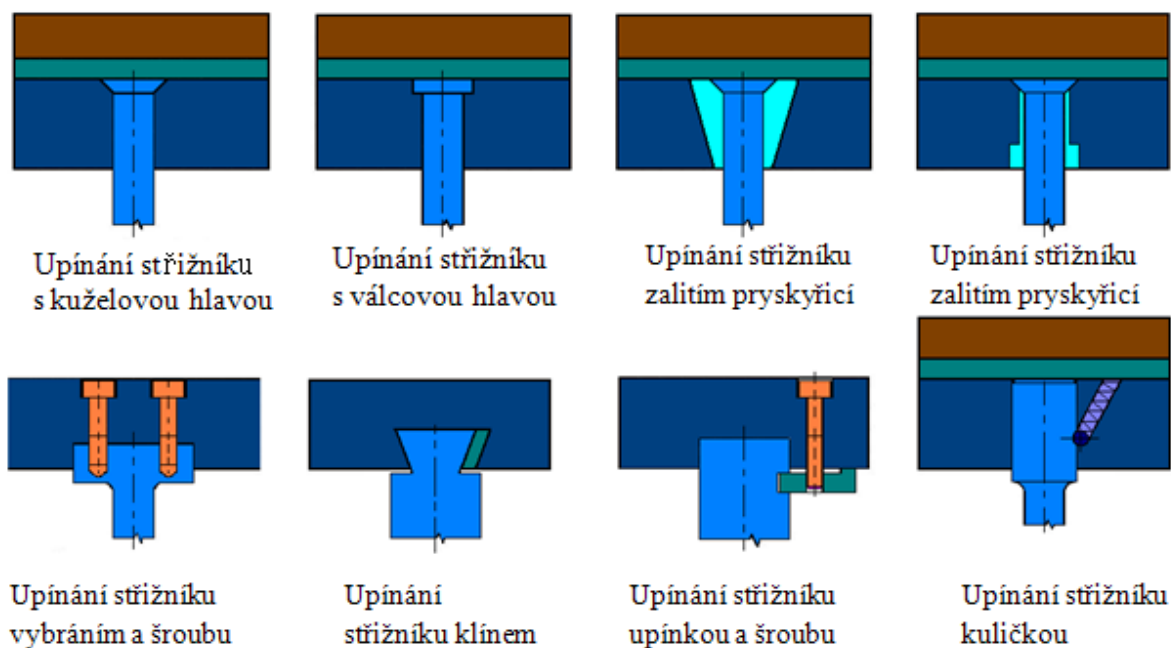
l_{krit} - kritická délka střížníku [mm],



Obr. 20. Úprava čela střižníků [60]

➤ **Kotvení střižníků [60]**

Kotvení střižníků musí být takové, aby nedošlo k vytržení razníku v závislosti působení stírací síly. Známe dva typy kotvení razníků, na pevno a na volno. Na pevno pomocí šroubu a pouzdra, do kterého je razník upevněn. Je velmi důležité, aby kotvení bylo vyříznuto přesně jak vodící deska, aby během stříhu nedošlo ke zkřížení razníku a jeho zlomení. Druhým způsobem je kotvení na volno. Razník má i po ukotvení nepatrnou vůli a vedení je tak zaručeno vodící deskou. Ukotvení se provádí za pomoci zámku, který je vybroušen do razníku, do něhož zapadá kotevní destička. Oba způsoby kotvení jsou zobrazeny na obr. 21.



Obr. 21. Způsoby kotvení střižníků [60]

Délka střížníků se běžně pohybuje okolo 80 mm a dovolené napětí δ_{dov} lze vypočítat jako namáhání v tlaku ze vztahu (2.6.):

$$\delta_{dov} = \frac{F_{s\ max}}{S} = [MPa] \quad (2.7.)$$

kde:

$F_{s\ max}$ – je maximální hodnota střížné síly [N]

S – plocha průřezu střížníku [mm²]

σ_{dov} – dovolené napětí v tahu [MPa]

➤ Určení rozměrů střížníku a střížnice [60] [44] [45]

Je potřeba zvolit správné rozměry střížníku a střížnice, abychom vyrobili výstřížek podle předepsaných tolerancí. K rozměru výstřížku se vztahují určité tolerance střížníku a střížnice. Před stanovením velikosti a tolerance střížníku a střížnice je potřeba zjistit, jestli požadovaný rozměr je otvor nebo výstřížek. Při výrobě střížníku je střížná vůle odečtena od střížníku podle vztahu (2.8.) a (2.10.). U děrové je střížní vůle odečtena od střížnice viz vztah (2.9.) a (2.11.).

Výrobkem je výstřížek:

Střížník

$$d_{sk} = (d_j - \Delta - v) - \delta_{se} = [mm] \quad (2.8.)$$

Střížnice

$$d_{se} = (D_j - \Delta) + \delta_{se} = [mm] \quad (2.9.)$$

Výrobkem je otvor:

Střížník

$$d_{sk} = (d_j + \Delta) - \delta_{sk} = [mm] \quad (2.10.)$$

Střížnice

$$d_{se} = (D_j + \Delta + v) + \delta_{sk} = [mm] \quad (2.11.)$$

kde:

d_{se} - skutečný rozměr střížnice [mm]

d_{sk} - skutečný rozměr střížníku [mm]

D_j/d_j - jmenovitý rozměr střížníku a střížnice[mm]

Δ - jmenovitá úchylka výstřížku [mm]

δ_{sk}/δ_{sk} - jmenovitá úchylka střížnice [mm]

➤ Materiály pro střížné nástroje [60] [8] [7] [64]

Základní rozdělení materiálů používaných ve střížných nástrojích závisí na tom, zda se jedná o činné nebo konstrukční části. Mezi činné části spadají díly, které jsou ve styku se stříhaným materiálem (střížníky, ohybníky, razníky, střížnice, ohybnice, hledáčky). Konstrukční části zajišťují správnou funkci stříhadla (kotvení střížníků, střížných vložek, vodících sloupků).

Dodavatelé nástrojových ocelí nabízí široký sortiment materiálů, které svými vlastnostmi mohou zvýšit produktivitu střížného nástroje. Je velmi důležité, aby pro stříhaný pás byl vybrán materiál, který bude optimální variantou v tvrdosti, ořezuvzdornosti a houževnatosti. Mezi nejpoužívanější nástrojové oceli patří:

WS = legovaná nástrojová ocel

HWS = vysoce výkonná nástrojová ocel s 12% Cr,

HSS = vysoce výkonná rychlořezná ocel, 5 % molybdenu zde zvyšuje odolnost proti lomu, protože podporuje tvorbu velmi jemné martenzitické struktury. Wolfram obsažený v množství 6,4 % zlepšuje pevnost a zejména zvyšuje odolnost proti opotřebení. Kromě výše uvedených prvků obsahuje tato ocel 1,9 % vanadu.

ASP = oceli vyráběné práškovou metalurgií, W-Mo-V-Co legovaná, práškovou metalurgií vyráběná rychlořezná ocel.

Z tohoto důvodu se volí cenově přijatelnější materiály, kterými jsou např. konstrukční oceli nebo litiny. Základní druhy používaných materiálů jsou uvedeny v příloze tab. 1.

➤ Vedení střížného nástroje [60] [58] [35]

Vedení střížného nástroje spočívá ve vhodném výběru vedení nástroje. Toto řešení a vhodnost uplatnění by mělo být hlavní úvahou konstruktéra. Nabízí se tu v podstatě dva druhy vedení nástroje. Rozlišujeme valivé vedení a kluzné vedení nástroje. Valivé vedení (obr. 22), které je velmi přesné a pracuje takřka bez vůle s předpětím, může mít jednu nevýhodu, která se může projevit v určitém vychýlení vedení nástroje. Projevem tohoto vychýlení bývá u nástrojů nepříznivá geometrie a tím vzniklé nerovnoměrné rozložení sil.



Obr. 22. Druhy klecí valivého vedení [56]

V porovnání s kluzným vedením nástroje (obr. 23), které se vyrábí s minimální tolerancí válcovitosti a kruhovitosti a především optimálním párováním s určenou tolerancí, zabezpečuje větší tuhost v porovnání s valivým vedením nástroje. U kluzného vedení je nutné předpokládat možnost odtržení vrstvy maziva a tím postupný přechod od kapalného k polosuchému až k suchému tření. Bohužel ani automatické tlakové mazání nezabezpečí spolehlivě optimální vrstvu maziva, především u nástrojů s krátkým zdvihem. K řešení



Obr. 23. Nejpoužívanější druhy kluzných pouzder [56]

a usnadnění konstrukčních rozhodnutí lze použít dnes vyráběné vodící prvky se samomaznými elementy do střížných nástrojů.

➤ Pružiny ve střížných nástrojích [60] [58] [35]



Obr. 24. Spirálové pružiny vyráběné firmou Agathon [1]

Nejčastější důvod použití pružin ve střižném nástroji je k přidržení materiálu během stříhu nebo ohybu. Konstrukčně je takové přidržení možno provést buď samostatnými přidržovači (pod každým přidržovačem je jedna pružina), nebo za pomoci



Obr. 25. Plynová pružina [56]

přidržovací desky (odpružení této desky je provedeno současně několika pružinami). Častěji používané spirálové pružiny se vyrábí jako normálie dle DIN ISO 10243, ve které jsou rozděleny do čtyř základních skupin. Každá skupina má své barevné

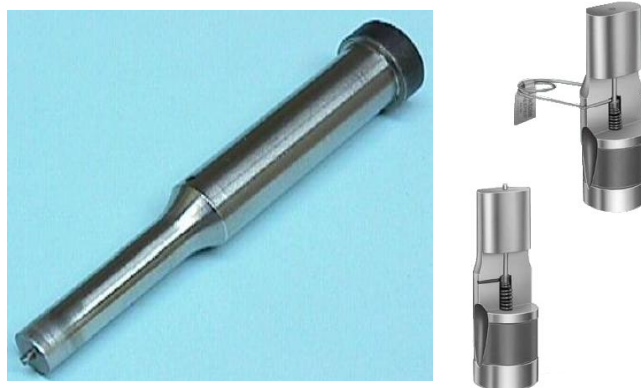


Obr. 26. Polyuretanová a talířová pružina [1]

označení (zelená, modrá, červená, žlutá). Někteří výrobci nabízí více barevných provedení viz obr. 24. Dalším typem jsou pružiny talířové (obr. 26), jejich výhoda spočívá v mnoha možnostech sestavení pružin do jednoho bloku a tím lze docílit různé celkové „tvrdosti“ pružiny. Novinkou jsou plynové pružiny, které se používají pro větší síly, ale zároveň se od ostatních liší svou zatěžovací charakteristikou, kterou je možno v průběhu stlačování regulovat. V určitých případech se používají i polyuretanové pružiny, které jsou vhodné pro malé série (obr. 26). Na obr. 25 je zobrazena plynová pružina.

➤ Odvádění odpadů ze střižnice [58]

Jedním z dalších problémů je správné odvádění odpadů. Často se setkáváme s případem, kdy odpad uvízne v matriční dutině a nepostupuje směrem dolů. K tomuto odpadu se brzy připojí další, se kterým tvoří pevně napěchovaný „balík“, který se postupně zvětšuje, až do okamžiku kdy jsou odpady (záleží na tloušťce materiálu) skoro zároveň se střižnicí. V této situaci může přirozeně dojít k poškození střižníku až k jeho prasknutí nebo poškození střižnice, obzvláště u vložkovaných střižnic, které jsou na prasknutí náchylnější než jednodílné střižnice. Životnost se také výrazně zkracuje, pokud dojde „pouze“ k vyštípnutí střižnice. Velikost fazety u střižnic je závislá na tloušťce stříhaného materiálu. Střižnice stříhající tenký materiál má fazetu poměrně malou a při jejím vyštípnutí se nedá tato střižnice již použít. Výhodou může být využití „Jektole střižníku“ (obr. 27), které vytváří odpady mírně menší než je matrice, což jim umožňuje lépe propadnout střižnicí.



Obr. 27. Střižník s odlepvákem [11]

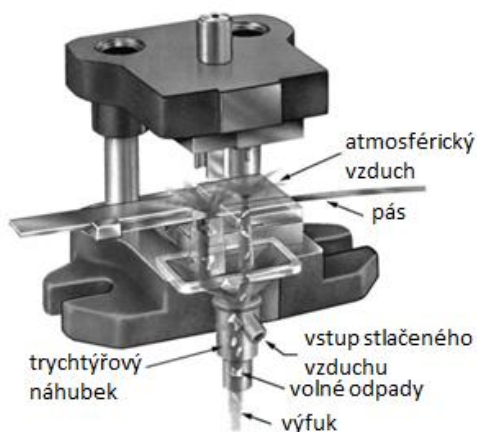
V případech, kdy otvor střížnice není správně dimenzovaný nebo vyrobený, může docházet k samovolnému pohybu odpadů přes střížnici. V krajním případě může dojít k jeho přetočení až o 180° viz (obr. 28). V tomto okamžiku začíná ulpívání odpadu v střížnici, které může vést až k poškození střížných částí.



Obr. 28. Vzpříčení odpadu ve střížné vložce

➤ Bazooka pouzdro [58]

Dalším vynikajícím způsobem

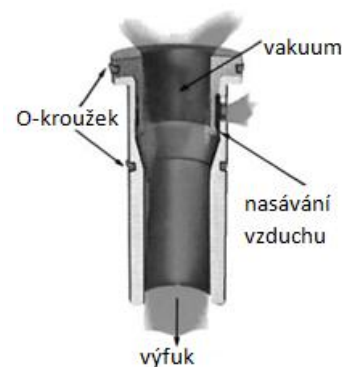


Obr. 29. Princip pouzdra Bazooka [58]

k odstraňování odpadu ze střížnice je pouzdro „Bazooka“ znázorněné na obr. 29. K odstranění odpadu se používá stlačený vzduch vytvářející vakuum (podobě jako „fixírka“), který působí na odpad ze spodní části střížnice. Vakuum zabraňuje nejen lepení odpadu na střížník, ale také ho nutí sledovat „cestu sání“, až po jeho opuštění nástroje a následný dopad do prostoru pro odpad.

➤ Užití vakuového systému [58]

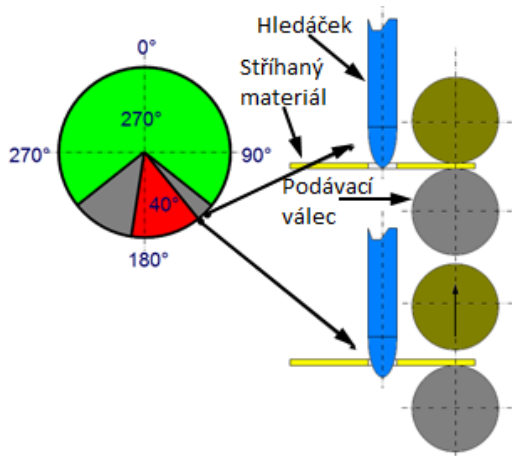
Vakuový systém použitý k odstranění odpadu je výhodnější řešení než v předešlém případě se stlačeným vzduchem, kdy může odpad létat ve špatném směru (mimo prostor pro odpad). Ve vakuovém systému je cesta odstraňovaného odpadu přesně vymezena. Vakuové pouzdro může být instalováno přímo do střížnice za působení maximálního tlaku vzduchu 60 Psi. Někdy může být pouzdro provedeno v "trychtýřové jednotce", jak je znázorněno na obr. 30. Při složitějším odstraňování odpadu se používají průletové snímače, které vyhodnocují průlet odpadu v určité době.



Obr. 30. Princip vakuového systému [58]

➤ Ustanovení pasu při stříhání [58] [35] [60]

U postupových nástrojů je zapotřebí, aby vždy když dojde k posunutí materiálu vpřed o hodnotu velikosti kroku nástroje, byla zaručena správná poloha posunutého pasu. Ustanovení pasu před dosednutím přidržovače a samotným stříhem se provádí pomocí hledáček (pilotů), které se dají zakoupit jako normálie. Na začátku pilotů bývá ustavovací kužel (40 °) zakončený hrotem nebo rádiem. Ustanovení pasu pilotami se provádí několika způsoby. Nejčastějším způsobem bývá nahledání pomocí tzv. průchozího hledáčku uchyceného napevno v kotvení desce (výjimečně lze uchytit v přidržovací desce). Průměr pilotu je nepatrně menší než střížený otvor (max. 0,02 mm). Nevýhodou tohoto způsobu je střížník, který se během stříhání postupně otupuje a stříhá menší otvor. V takový okamžik má pilot větší průměr než střížený otvor a dochází k jeho ulpívání na



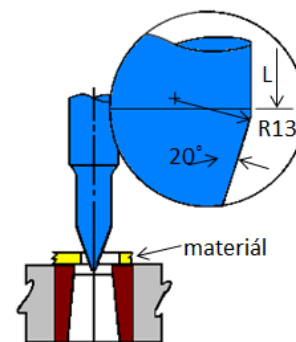
Obr. 31. Schéma ustanovení pásu hledáčky [50]

stříhaném pasu. Další způsob ustavení pásu je za pomoci odpruženého pilotu, který ustavuje pás pomocí kuželu, protože jeho jmenovitý průměr je větší střížený otvor. V tomto případě nemůže dojít k ulpění pásu materiálu na hledáčku. Princip ustanovení pásu hledáčkem je zobrazen na obr. 31.

➤ Hledáčky [58]

Svou konstrukcí hledáčky připomínají střížníky. Jediným rozdílem je jejich hladké zaoblení na konci, které vniká do otvoru střížnice (obr. 34). Hledáčky se používají v střížných nástrojích k ustanovení pásu. První hledáček se ukládá do druhého kroku pro již vystřížený otvor. Hledáčky jsou vždy delší než střížníky, aby bylo zajištěno správné napolohování pásu pro jakékoliv střížení. Jejich průměr musí být menší než vystřížený otvor (max. o 0,02 mm). Ukotvení hledáček je podobné jako u kotvení střížníků popsáno výše.

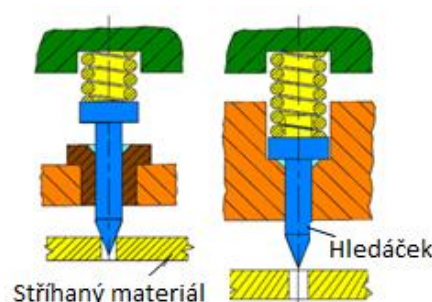
Pro správné usazení pásu musí hrot hledáčku projít stříhaným materiálem o hodnotu dvou tloušťek materiálu nebo 1,5 mm podle toho, která hodnota je větší (obr. 32).



Obr. 32. Polohování pásu hledáčkem [11]

➤ Odpružené hledáčky

U tohoto způsobu usazení pásu nemusí být střížený otvor přesně střížený, a proto se uvádí tato metoda jako levnější. Volný konec pružiny je obvykle uchycený v jednoduché kapse se zahlboubením v opačné desce. V některých publikacích se uvádí, že tento způsob polohování není moc přesný a neměl by být používán k přesné výrobě. Jiná literatura doporučuje tento způsob pro přesné stříhy s odvoláním na to, že u průchozího hledáčku je vždy nějaká vůle mezi materiálem a hledáčkem, zatímco u nahledání na kužel je pás vždy vycentrován přesně na střed (obr. 33).

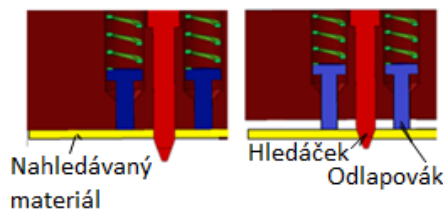


Obr. 33. Princip odpružených hledáčků



Obr. 34. Základní tvary hledáčků [11]

V některých případech, kdy je přítomný olej na povrchu materiálu nebo střížnice, může dojít při stříhání ke vzniku vakua mezi vystřiženou částí a čelem střížníku. Tento efekt bude mít za následek přilnutí vystřižené části k čelu střížníku, nebo ulpění celého stříhaného pásu na přidržovací desce. K zamezení tomuto jevu se používají tzv. „odlapovák“, které bývají nejčastěji pružinové nebo vzduchové viz obr. 35.



Obr. 35. Princip tzv. „odlapováků“ u hledáčků

➤ Vodící lišta (vstupní lišta) [58]

Šířka svitku vstupujícího materiálu se dodává v určité výrobní toleranci. Jak lze očekávat s užší výrobní tolerancí stoupají pořizovací náklady materiálu. Navíc často může mít materiál ve formě svitku po svých okrajích defekty vzniklé při jeho výrobě (válcování). Tyto faktory je třeba vzít v úvahu při navrhování konstrukce nástroje. U méně přesných výrob, u kterých jsou použity pro polohování pásu hledáčky, je možné stav okrajů pásu ignorovat.



Obr. 37. Vlevo vedení pomocí pilotů vpravo pomocí „kanálů“

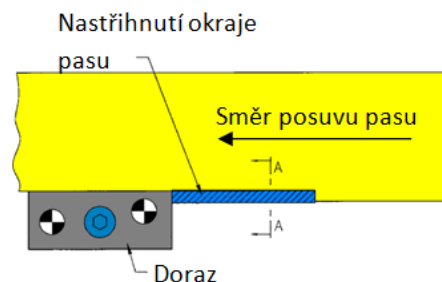


Obr. 36. Čepy k vedení materiálu

U výroby, kde je celková šířka důležitá, je zapotřebí správného vedení pásu za pomoci vstupní vodící lišty a vodících pilotů v

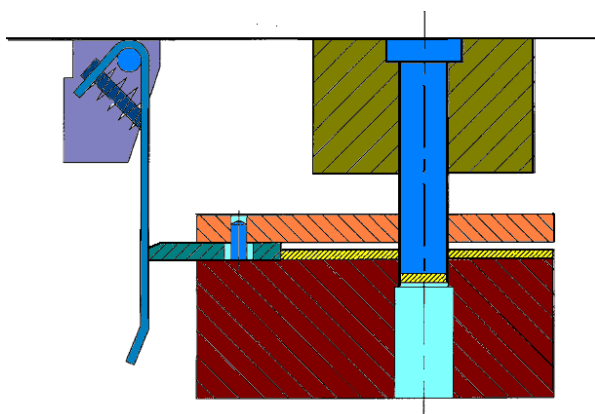
nástroji. Tato zařízení mohou být v různých formách a tvarech. Sadu čepů (obr. 36) nebo soubor bloků umístěných vedle sebe lze považovat za materiálová vodítka. Často jsou spojitě a vytváří tzv. kanálové vedení (obr. 37). Materiálová vodítka jsou konstruována tak, aby bylo zabráněno vybočení pásu stranou, ale i vytvoření tzv. vlny mezi podavačem a nástrojem.

Nejoblíbenější vedení pásu je tzv. "francouzský stop". Tento typ dorazu zabraňuje nejen materiálu postupovat více než je krok nástroje, ale zároveň neguje všechny problémy spojené s tolerancí materiálu. Jedná se o střížník obdélníkového tvaru s tzv. nosem, jehož minimální délka by měla být 1,5 t. Delší strana střížníku je totožná s krokem nástroje. Střížník zastřihává bok materiálu a tím vzniká zářez (obr. 38), který je obvykle obdélníkového tvaru a jeho velikost je totožná s krokem nástroje. Vzdálenost mezi vodícími piloty nacházející se za tímto střížníkem je menší o hodnotu zastřižení.



Obr. 38. Boční zastřihávání materiálu

➤ Přítlačování pomocí odpruženého ramene

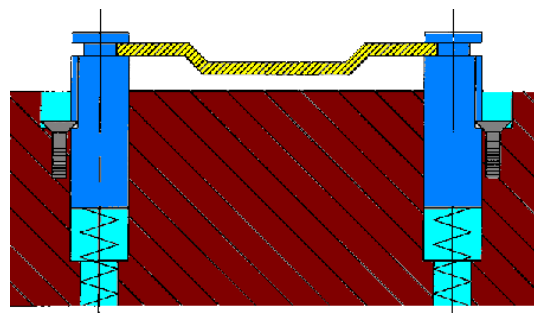


Obr. 39. Přítlačování materiálu odpruženým ramen [58]

Přítlačování pomocí odpruženého ramene (obr. 39). K horní části nástroje je uchyceno přítlačné rameno, které vykonává pohyb nahoru a dolů. Během pohybu dolů „zakopne“, rameno o přítlačný palec a tlačí ho na hranu materiálu. Posuv přítlačného palce je dán velikostí drážky, kterou prochází kolík. Maximální přítlačné napětí se pohybuje od 1 až do 10 kg.

➤ Odpružené vodící piloty.

Jedná se o válcovité piloty s drážkou po obvodu (obr. 40). Velikost drážky je dána tloušťkou stříhaného materiálu. U tohoto typu je možné použít různě velké a upravené hlavy pilotů, což má všestrannější uplatnění.

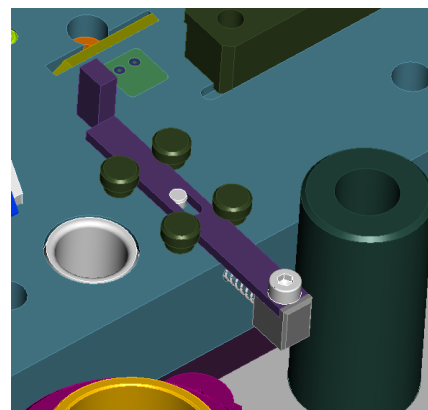


Obr. 40. Odpružené vodící piloty [58]

➤ Dorazy [60] [58]

U jednoduchých stříhadel, u kterých se nepoužívá podávací zařízení, slouží dorazy k přesnému posunutí pásu o hodnotu jednoho kroku. Stříhadlo má takový počet dorazů, kolik kroků je v nástroji, tak aby bylo zaručeno správné projetí pásu skrz nástroj. Po projetí pásu nástrojem se používá už jen poslední doraz. U složitějších nástrojů používajících podávací zařízení je umístěn na začátku nástroje jen jeden doraz.

Při zavádění pásu do nástroje je zapotřebí dodržení jeho správné polohy. Zavedení pásu příliš daleko do nástroje může vést v lepším případě ke zvýšenému opotřebení, v horším případě má vzniklá nesouosost za následek narušení (vyštípnutí) střížných prvků. K zabránění této situaci jsou střížné nástroje vybaveny tzv. načínacími dorazy (obr. 41).

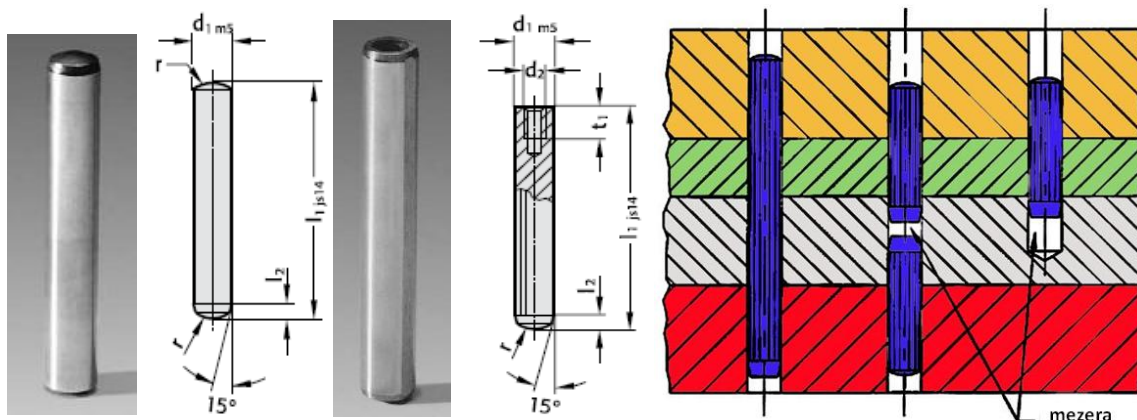


Obr. 41. Načínací doraz [60]

➤ Spojovací kolíky [58]

Spojovací kolíky se používají k ustanovení pevných desek v přesné poloze vůči sobě (obr. 42). Šrouby slouží jen k upevnění, zatímco kolíky poskytují všechna potřebná vyrovnání. Z tohoto důvodu musí kolíky procházet celou délkou sestavy bloků. V každém z těchto bloků musí být otvory přesně vyrobeny. Kolíky nemusí být dlouhé od povrchu k povrchu. Jako preventivní opatření proti jejich vyčnívání na jednom z konců lze použít kolíky do neprůchozích otvorů, avšak takovéto kolíky v sobě musí mít z jedné strany závit, aby bylo možné jejich následné vyjmutí. Pokud konstrukce nástroje neumožňuje všude použití dlouhých kolíků, využívá se i kratších kolíků, avšak alespoň dva kolíky musí být přes všechny desky.

Při volbě umístění kolíků musí být řešeno jejich rozložení na desce. V případě otočení desky do špatné polohy nesmí dojít k jejímu sestavení.



Obr. 42. Základní typy kolíků a jejich použití [21] [58]

➤ Upínání střížných nástrojů na lis [60], [13] [58]

Upínání nástroje se provádí dle ČSN 22 6015. Nejčastějším způsobem upínání středních a větších nástrojů je upnutí spodní části nástroje ke stolu lisu upínkami. Vrchní část nástroje se upíná k beranu lisu šrouby, výjimečně upínkami. Je důležité, aby byl nástroj upnut v ose beranu, jinak by docházelo k nerovnoměrnému zatížení lisu a nástroje. Beran je často vybaven tzv. středící drážkou, do které zapadají středící čepy nástroje a je tak zaručena správná poloha nástroje. Další způsob uchycení menšího nástroje je pomocí stopky k beranu lisu. V důsledku stále se zvyšujících podmínek na snížení seřizovacího času došlo v poslední době k rozvoji upínání nástrojů. Moderní lisy jsou vybaveny nejen kuličkovými lištami ve stole (snadné zasunutí nástroje do lisu), ale také hydraulickým (obr. 43), pneumatickým nebo magnetickým upínacím systémem.



Obr. 43. Hydraulické upínání nástrojů [23]

➤ Bezpečnost nástroje [58] [60]

Zodpovědné řízení procesu výroby střížnice a následně jejich bezpečnost v provozu je životně důležitá u lisování kovů. Při nedostatečném zabezpečení střížného nástroje může vzniknout poškození střížnice či jiných funkčních částí nebo kvality vyráběných dílců. Vzhledem k vysoké ceně střížných nástrojů, časové, finanční náročnosti jejich oprav a požadavků na kvalitu stříhaných dílců je nezbytné, aby nástroje byly chráněny proti poškození.

Již mnoho let se k zajištění bezpečnosti střížných nástrojů používají koncové spínače. Jsou to malá zařízení, která jsou umístěna konstrukčně takovým způsobem, aby bylo možné rozpoznat špatnou polohu pásu, vzpříčení materiálu, nebo jiné poruchy procesu lisování. Koncové spínače mohou být použity jako bezpečnostní spínače se zpětnou kontrolou, nebo jako prostředek dodatečného ovládání při lisování.

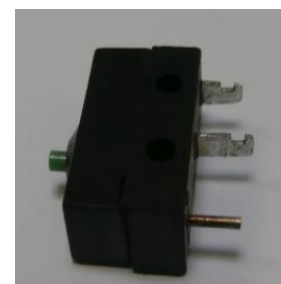
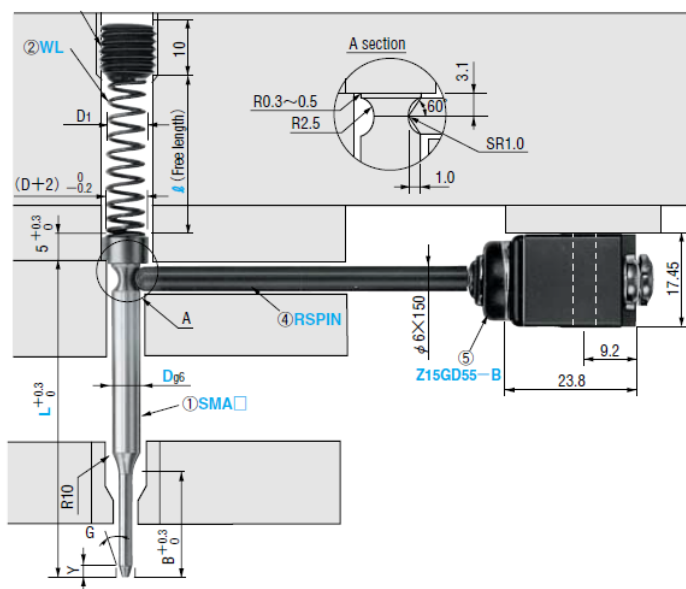
Nicméně stále se zvyšující požadavky na kvalitu vyráběných dílců, včetně požadavku na nulové procento zmetků, vedly k rozšířenému používání elektronických senzorů. Pouze elektronická čidla zapojená do programovatelného automatu (PLC) jsou schopná zastavit

lis ve velmi krátké chvíli. Lze je použít prakticky k jakékoliv funkci např. k hlídání správného posuvu materiálu, výpadu dílců z nástroje, pro hlídání tzv. dvojitého plechu atd. Senzory předávají data do PLC, který okamžitě vyhodnocuje stav střížného procesu.

➤ **Koncové spínače [58]**

Jsou často také nazývány jako mechanické spínače, protože jejich funkce je závislá na skutečném fyzickém kontaktu s dílcem nebo materiálem (obr. 44). Tyto typy spínačů jsou široce používány pro detekci vzpříčeného plechového pásu, pro indikaci nežádoucího chování pásu, pro kontrolu vystříženého odpadu a opuštění vystříženého dílu. Výhodou těchto spínačů jsou levnější pořizovací náklady a možnost kontroly nástrojů u starších lisů, které nemají PLC vyhodnocovací systém. Nevýhody těchto zařízení jsou velmi četné. Především je zapotřebí, aby byl snímán dotek s hlídaným materiálem, který může vést ke tření mezi dílcem a hlídacím palcem.

Mikrospínač je v podstatě vypínač velmi malé velikosti a hmotnosti. Je aktivován mechanicky pomocí táhla. Vyrábí ve dvou variantách s funkcí, kdy je v klidovém stavu zavřeno, nebo v klidovém stavu otevřeno. Vždy dává digitální signál (on/off). Výhodou je malá velikost, váha, velká elektrická kapacita, přesnost a dlouhá životnost.



Obr. 44. Princip mikrospínače

Mechanické spínače trpí snadno na vliv proměnných veličin vzniklých v procesu lisování kovů, které mohou způsobit poškození jejich mechanismů. Jsou jimi špína, opotřebení a olej. V důsledku těchto nedostatků se začaly uplatňovat bezdotykové snímače (indukční snímače, světelné snímače, optické snímače, fotoelektrický snímače, kapacitní snímače).

➤ **Indukční snímače**

Základ tvoří oscilátor pracující na principu změny činitele jakosti jádra při přiblížení kovového materiálu. To se projeví jako útlumem kmitů na oscilátoru a ten přestane kmitat (na výstupu není signál). Po odstranění kovového materiálu ze spínací zóny se kmitání na oscilátoru znovu obnoví. Snímače jsou zdrojem signálu, který se přenáší kabelem k PLC.

Ten zpracovává a vyhodnocuje signály. Tato zařízení se dodávají ve dvou formách, jako PNP a NPN.

➤ **Optické senzory [58]**

Standardní optické senzory (obr. 45) využívají ke snímání objektů viditelné nebo infračervené světlo. Optické senzory se vyrábí v mnoha variantách s jedním nebo více paprsky. Optické jednocestné závory se skládají z vysílače a přijímače, které se montují naproti sobě tak, že světlo z vysílače směřuje přímo na přijímač. Jakmile je tento paprsek přerušen, je detekována chyba.



Obr. 45. Optický senzor od firmy Vester [59]

➤ **Indukční senzory**

Bezdotykové (indukční) senzory (obr. 46) mají malé rozměry a jsou poměrně odolné vůči vibracím a ostatním vlivům, které přináší technologie lisování kovů (oleje, tuky, maziva, špína, odpad). Pouzdra senzorů se dodávají ve dvou provedeních, a to stíněné a nestíněné. Nestíněné modely mají větší rozsah snímání než ty, které jsou stíněné.

Čidla mohou odhalit mnoho chyb během lisování. Umožňují také detekovat změny velikosti posuvu společně s chybnou pozicí pásu. Lze jimi zabránit tzv. lisování dvojitého plechu. Používají se také k detekci vytaženého odpadu ze střížnice. Senzory lze sledovat vyfouknutí vyráběné částí z nástroje, detekovat vybočení nebo ohnutí pásu, změnu tloušťky a šířky pásu. Ve spojení s tenzometrickými snímači umožňují zjistit úroveň tlaku na funkční části střížného nástroje.



Obr. 46. Základní typy bezdotykových senzorů

Zpravidla malé střížné nástroje nepotřebují velké množství senzorů. Velké komplexní nástroje mohou potřebovat mnohem víc senzorů. U takových nástrojů je zapotřebí už při navrhování konstrukce brát v úvahu možná problémová místa a umístit zde vhodné senzory. Senzory jsou poměrně drahá zařízení, a tak je možné u některých

vytipovaných míst připravit při výrobě jen otvor pro čidlo a koupě může proběhnout až po ověření jeho nutnosti.

2.5 Návrh stroje [60] [8] [44] [55] [58]

K výběru vhodného lisu pro vyráběný dílec je zapotřebí vycházet z vypočítané velikosti střížné síly, ale dále je také nutné brát v úvahu velikost nástroje, velikost zdvihu, požadovanou výrobní rychlost lisu a vybavenost lisu perifériemi. V praxi se často musí vybírat stroj podle strojního vybavení firmy. Často to znamená rozdělit stříhání na dvě operace pro snížení velikosti střížné síly. Mezi další aspekty ovlivňující výběr lisu patří pořizovací cena nebo hodinová sazba stroje.

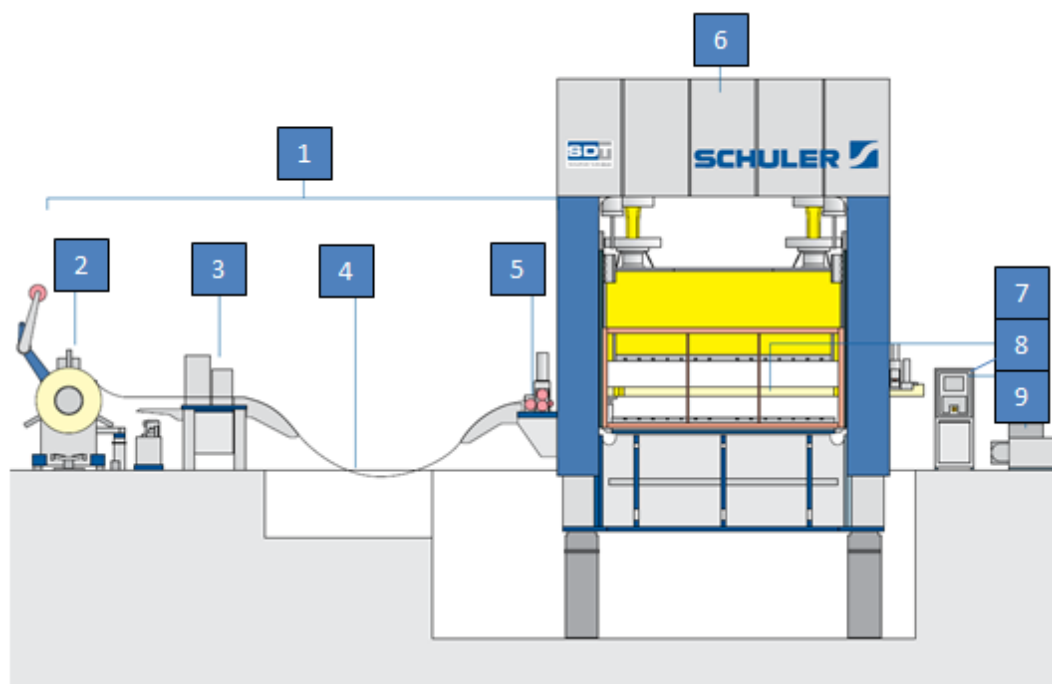
➤ **Mechanické lisy**

- Konstrukčně jsou tyto lisy jednodušší. Tyto typy lisů využívají mechanických převodových systémů k vyvození lisovací síly. Mezi nevýhody patří proměnlivý nárůst tvářecí síly, jejíž maximální hodnoty se dosahuje v dolní úvratí. Mechanické lisy dělíme na:

- klikové – nejčastěji se používají k ostříhování výlisků,
- výstředníkové – používají se pro děrování, vystříhování i ostříhování.

- Dělení podle velikosti jmenovité síly:
 - lehké (do 500 kN),
 - střední (od 500 kN do 5000 kN),
 - těžké (více než 5000 kN).
- Dělení dle použití lisu:
 - univerzální – tváření nebo oddělování různých tvarů různými operacemi,
 - speciální – tváření a oddělování různých rozměrů jedinou operací,
 - jednoúčelové.

Lisy dále dělíme na pomaloběžné (složité nebo velké díly) do 150 zdvihů za minutu a lisy rychloběžné až 2000 zdvihů za minutu. U klikových i výstředníkových lisů je možné připojení periférií a vytvoření tak výrobní linky. K nejpoužívanějším typům lisu pro výrobu dílců na postupových střížných nástrojích patří výstředníkový lis. Podle velikosti dílce a výrobní série se volí lis bez automatického podávacího zařízení nebo lis vybavený automatickým podáváním a různými přídatnými perifériemi (obr. 47).



- 1 - Úsek přípravy polotovaru
- 2 - Odvíječ
- 3 - Rovnácí zařízení
- 4 - prověšení materiálu
- 5 - válcový podavač

- 6 - Servo lisy
- 7 - Manipulátor
- 8 - Ovládací panel
- 9 - Rozvodná skříň

Obr. 47. Popis pracoviště lisu [55]

➤ **Hydraulické lisy**

Tento typ lisu patří mezi méně používané pro stříhání na postupových stříhadlech. Lisovací síla je zde získána pomocí hydraulického válce. Velkou výhodou těchto lisů je neměnná lisovací síla, která působí v celé délce pohybu beranu lisu. Lisovací síla je nastavitelná, a proto jsou tyto lisy s oblibou používány ve zkušebnách střížných nástrojů.

➤ **Příslušenství lisu**

Stále se zvětšující požadavky na efektivitu výroby vedly k rozvoji řady příslušenství k lisům. Velký rozvoj nastal jak u odvíjecích a navíjecích zařízení, která jsou dnes schopna sama měnit cívky s materiálem či vyrobenými dílci, tak je i hojně užíván kontrolní kamerový systém, který provádí hned za lisem 100% kontrolu vyrobených dílců.

➤ **Navíjedla, odvíjedla [60] [9]**

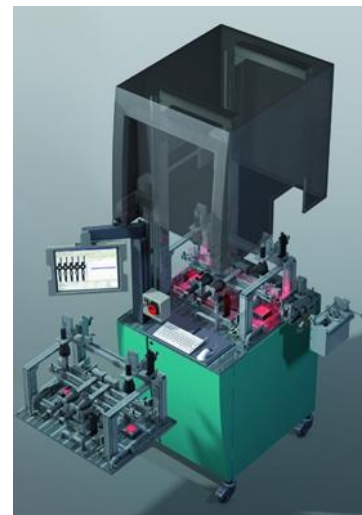
Zařízení slouží k odvíjení či navíjení pásů materiálu. K dostání jsou varianty horizontálního nebo vertikálního provedení. Odvíjení nebo navíjení materiálu je provedeno v závislosti na velikosti průvěsu pásu, který je bezkontaktně snímán. Rychlost odvíjeného materiálu je závislá na velikosti kroku a rychlosti lisu. Na obr. 48 je zobrazeno odvíjecí a navíjecí automatické zařízení.



Obr. 48. Navíjecí zařízení (vlevo) odvíjecí zařízení (vpravo) [33]

➤ Kontrolní kamery výlisků [60] [58] [46]

Kamerová kontrola (obr. 49) se počítá mezi nejnovější technologii automatického řízení. Základní částí je kamera a vyhodnocující software. Kamerovým systémem je možné měřit klasickou, relevantní nebo kompletní obrysovou kontrolu dílu pro zjištění sporadických závad. U dílců, jdoucích z nástroje po dopravníkovém pásu, je spojen vizuální systém společně robotickou rukou. Kamerový systém detekuje polohu vyrobeného dílce a data zašle robotické ruce, která uchopí dílec a uloží ho do paletky. Proces vyhodnocování je téměř okamžitý a jeho přesnost a opakovatelnost je neuvěřitelná. Kamerový systém je schopný přepnutí z jednoho tvaru do druhého během zlomku vteřiny a rozdíly ve velikosti nepředstavují žádný problém. S největší pravděpodobností neexistuje ve světě zařízení, které může najít součást přesněji a v kratším čase, než je správně naprogramovaný kontrolní robot. Z těchto důvodů může být tento systém budoucností výroby ve strojírenském průmyslu.



Obr. 49. Kontrolní stanice [46]

➤ Maziva

Hlavním úkolem maziva je snížit vliv tření mezi nástrojem a materiálem. V ideálním případě by maziva měla také působit jako chladicí a tepelný izolant, aniž by byla příčinou jakéhokoliv škodlivého působení proti nástrojům, materiálu, lisu nebo obsluze. Mazivo nesmí způsobit korozi kovových částí a mělo by být snadno odstranitelné některými dostupnými prostředky. Maziva mají zásadní význam pro tvářecí, střížné a tažné procesy, ve kterých je můžeme rozdělit do několika kategorií.

2.6 Životnost a trvanlivost stříhadel [60] [8] [58]

➤ Životnost stříhadel

Životnost u střížných nástrojů se stanovuje podle počtu vyrobených dílců v požadovaných rozměrech a kvalitě. Konec životnosti nástroje nastává tehdy, když jeho činné části nejdou přestrojit ani opravit. Životnost nástroje ovlivňují tyto činitele:

- tvar a velikost výstřižku
- druh a kvalita nástroje
- zatížení lisu
- údržba nástroje
- zpracovaný materiál

Během stříhání dochází k postupnému nárůstu rozměrů a zhoršení kvality vyráběného dílce až do okamžiku, kdy rozměr výstřižku dosáhne maximální hodnoty. Při opotřebení střížných břitů je zapotřebí jejich přebroušení. U nástrojů rozlišujeme:

celkovou trvanlivost = životnost

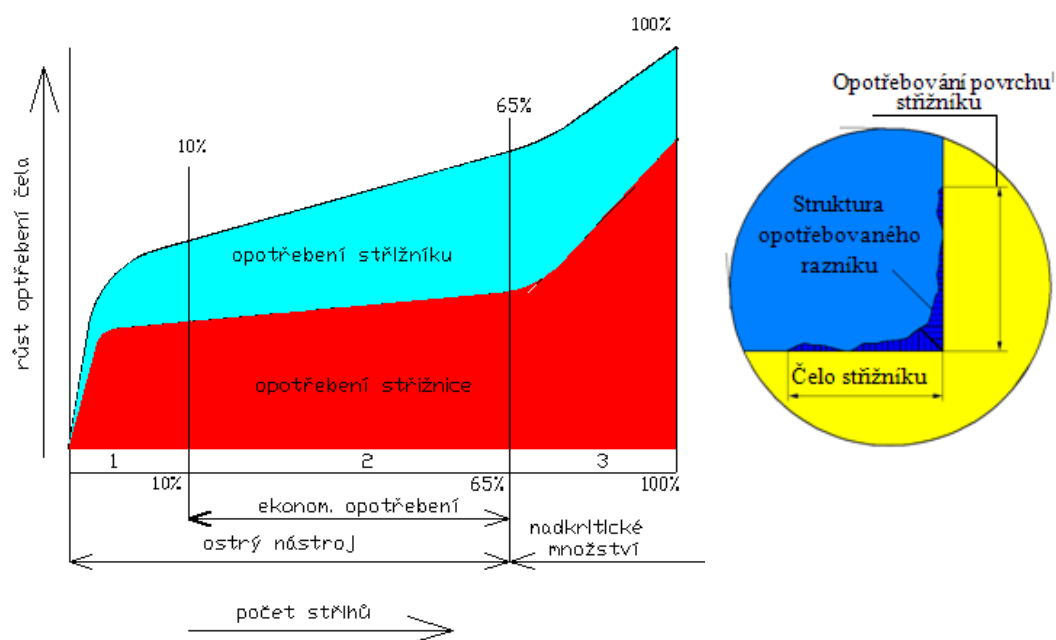
dílčí trvanlivost – mezi dvěma přebroušeními

Maximální počet přebroušení je omezen rozměrem činných částí i rozměrem výstřižku. Na maximální počet přebroušení má vliv hloubka vniknutí střížníku do střížnice (hloubka opotřebení). V literaturách se udává maximální počet přebroušení až 25x. Během stříhání dochází k otěru boku činné plochy střížníku nebo střížnice v šikmém směru nebo žlábkovitému vymílání čela. Opotřebení boku střížných částí vytváří nepravidelnou kuželovou plochu. Oba druhy opotřebení se vyskytují ve smíšené formě. Tvar opotřebovaných ploch je vidět na obr. 51.

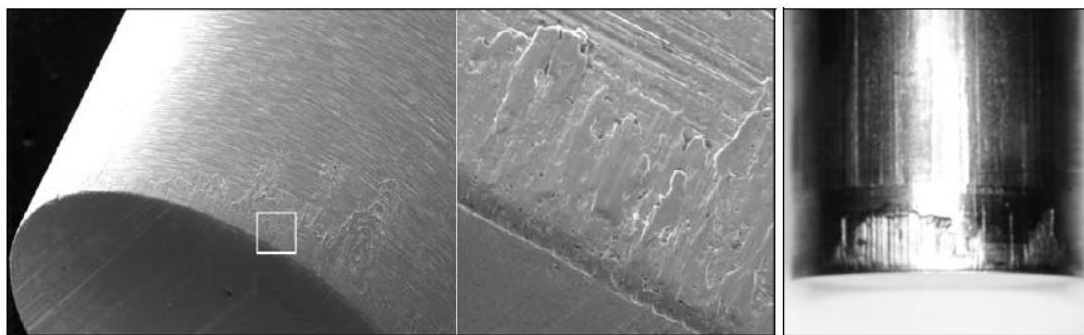
K opotřebení dochází při postupném vnikání střížníku do plechu, tím se vlákna v materiálu prohýbají a dochází ke zpevnění materiálu. Důsledkem toho vznikají na střížných hranách velké tlaky, které vlivem adheze a abraze způsobují opotřebení. U střížných nástrojů převyšuje abrazní opotřebení. Velikost opotřebení se stanovuje buď podle chybějícího průřezu plochy, nebo podle chybějícího objemu materiálu nástroje. Dalším způsobem, jak určit míru opotřebení, je velikost ostřin. Velikost ostřin však není absolutní hodnotou, jelikož závisí na více činitelích.

Opotřebení nemá lineární charakter, ale spíše obecný průběh. Opotřebení střížnice a střížníku má podobný průběh, který se dá rozdělit do tří pásem, v nichž se odlišuje strmost křivky (obr. 50). První pásmo představuje okamžik rychlého otupení ostrých břitů. V druhém pásmu dochází k opotřebení pomaleji vlivem zvětšení střížných ploch a tím k poklesu tlaku. V 3. pásmu se zachycuje okamžik změny procesu deformace na střížné hraně a k superpozici tvářecí a střížné síly. S rostoucím otupením vzrůstá střížná síla vlivem většího tváření materiálu a zvyšujícího se zpevnění. Většinou s rostoucím opotřebováním roste i velikost střížné vůle, která má však za následek snížení střížné síly. Různými zkouškami se došlo k těmto závěrům:

- křivka opotřebení má podobný tvar u různých stříhaných materiálů
- na velikost ostřin má největší vliv míra otupení střížníku
- velikost opotřebení se po přebroušení zmenšuje.



Obr. 50. Trvanlivost střížníku a střížnice [60]

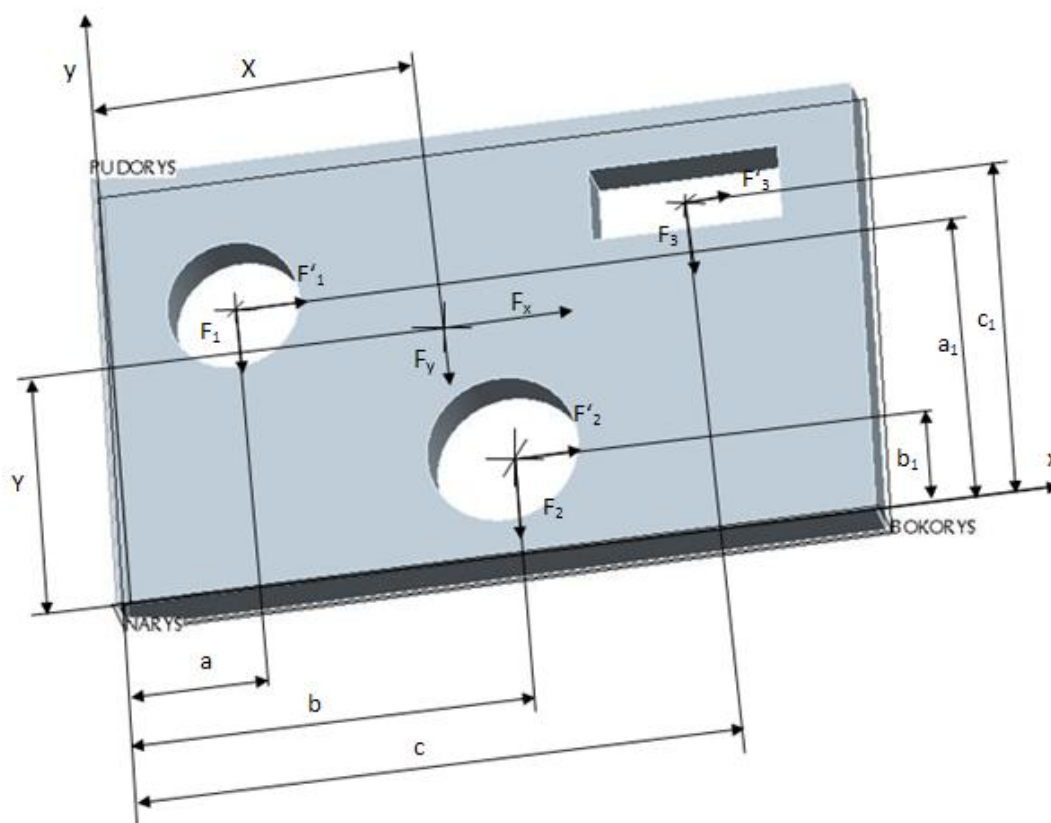


Obr. 51. Vydřený střížník [60]

2.7 Těžiště střížných sil [60] [44]

U střížných nástrojů je důležité znát polohu těžiště střížných sil. Při správném zvolení místa těžiště je zaručena lepší kvalita výstřížku a trvanlivost břitů i delší životnost vodících prvků. Nehrozí riziko vzniku klopných momentů, které by mohly mít za následek trvalé poškození střížníku a střížnice. Na obr. 52 je uveden způsob určování souřadnic pro výpočet těžiště.

Polohu těžiště střížného nástroje lze určit třemi způsoby, a to graficky, početní metodou a pomocí konstrukčního programu, ve kterém se nástroje kreslí. Nedoporučuje se provádět grafickou metodu u složitých nástrojů, neboť se zvětšuje pravděpodobnost vzniku nepřesností. Nejjednodušší a zároveň nejpřesnější výsledky jsou v současné době z Cad programů, které vychází ze základních vztahů (2.12.) a (2.13.).



Obr. 52. Popis určování souřadnic pro výpočet těžiště [60]

➤ **Výpočet polohy těžiště v ose X**

$$X = \frac{F_1 \times a + F_2 \times b + F_3 \times c}{F_x} = \frac{F_1 \times a + F_2 \times b + F_3 \times c}{F_1 + F_2 + F_3} = [mm] \quad (2.12.)$$

➤ **Výpočet polohy těžiště v ose Y**

$$Y = \frac{F'_1 \times a + F'_2 \times b + F'_3 \times c}{F_y} = \frac{F'_1 \times a + F'_2 \times b + F'_3 \times c}{F'_1 + F'_2 + F'_3} = [mm] \quad (2.13.)$$

kde:

X- je vzdálenost těžiště střížných sil od osy „y“ [mm]

Y- je vzdálenost těžiště střížných sil od osy „x“ [mm]

a, b, c – vzdálenost těžišť střížných sil F_1, F_2, F_3 , od osy „y“ [mm]

a_1, b_2, c_3 – vzdálenost těžišť střížných sil F'_1, F'_2, F'_3 , od osy „x“ [mm]

$F_1, F_2, F_3, F'_1, F'_2, F'_3$, -střížné síly od jednotlivých střížníků [N]

F_x, F_y – celková střížná síla v ose x, y [N]

2.8 Technologičnost výroby výstřižků [60] [8]

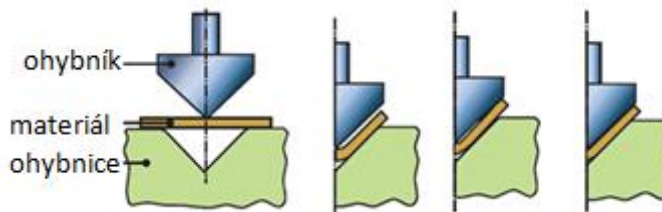
Technologičností se rozumí souhrn prvků, který lze nejjednodušeji a nejehospodárněji vyrobit danou součást v určitém množství se všemi jejími požadavky. Hlavní ukazatele technologičnosti výroby:

- minimální počet operací
- nejmenší množství výrobních strojů
- minimální náklady na nástroj
- optimální životnost nástroje
- nejvyšší produktivita práce
- malá kvalifikace pracovníků

Při dodržení výše zmíněných požadavků se dosáhne technologičnosti a tím i ehospodárné výroby. Správně vypracovaný technologický postup je základem úspěchu. Jelikož náklady na nástroje a stroje jsou poměrně vysoké, je třeba, aby technologický postup byl technicky i ekonomicky účinný. I pozdější nepatrné změny v technologickém postupu vedou k velkým nákladům. U velkosériové výroby je důležité usilovat o nejmenší počet operací a zvýšení produktivity.

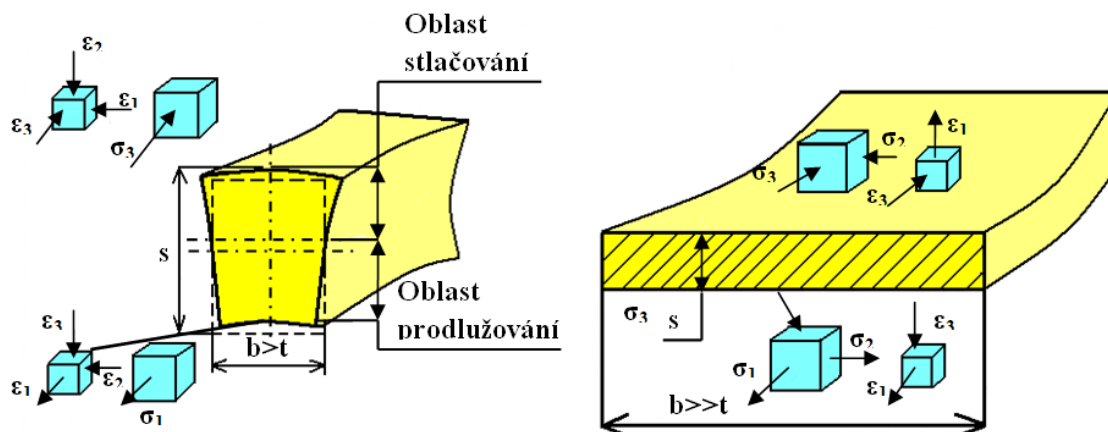
3 TECHNOLOGIE OHÝBÁNÍ [30], [7], [16], [22] [60]

Ohýbání je trvalá deformace materiálu, která se provádí většinou za studena. Materiál je deformován do různých úhlů, jejichž vrcholy mají menší nebo větší zaoblení. K ohýbání se používají nástroje nazývané ohýbadla, která se skládají z ohybníků a ohybnice (obr. 53). Dílce vyrobené na těchto nástrojích se nazývají výlisky, nebo ohybky. U ohýbání do požadovaného tvaru se vychází ze zákonů plasticity. Tak jako u jiných způsobů tváření po překročení meze kluzu dosáhneme oblasti plastické deformace. Plastická deformace je doprovázena deformací elastickou.



Obr. 53. Průběh ohýbání [60]

Při ohýbání dochází k deformaci materiálu, přičemž k větším deformacím dochází v širších průřezech než v nižších. Pokud je ohýbán materiál mající šířku větší než trojnásobek jeho tloušťky, nedochází u něj k deformaci v příčném směru, protože na něj působí v opačném směru odpor materiálu velké šířky vzhledem k jeho malé tloušťce. Vrstvy materiálu vyskytující se od neutrální osy směrem ke středu ohybu jsou stlačovány, zkracovány a v příčném směru jsou roztahovány. Vrstvy objevující se od neutrální osy na vnější straně ohybu jsou roztahovány, prodlužují se v podélném směru a stlačují se v příčném směru. (obr. 54).



Obr. 54. Deformace průřezu při ohýbání [60]

V středních oblastech průřezu materiálu jsou tahová napětí tak malá, že dosahují hodnot nižších, než je mez kluzu ohýbaného materiálu. V oblasti, kde přechází tahové napětí do tlakového nebo obráceně, se nachází tzv. neutrální osa, ve které není napětí. Tato pomyslná osa se při ohýbání ani neprodlouží, ani nezkrátí. Poloha neutrální osy se mění v závislosti na velikosti ohybového poloměru a tloušťky materiálu. Není tedy totožná s osou těžiště ohýbaného materiálu.

3.1 Rozvinutá délka výlisků [60]

K dodržení zadaného tvaru výlisku je zapotřebí určit správnou velikost rozvinutého polotovaru. Jeho hodnota je dána součtem délek jednotlivých úseků neutrální osy. Se

zvětšující se tloušťkou ohýbaného materiálu se tento rozdíl výrazně zvětšuje. Tato metoda se nepoužívá u velmi tenkých materiálů (do 0,2 mm), kde je rozdíl téměř nepatrný. Dnešní programy, které se používají ke konstrukci výlisků a nástrojů, jsou schopny velmi přesně stanovit velikost rozvinutého tvaru. Hodnota vzdálenosti „x“ udává polohu neutrální osy v závislosti poměru R/t – viz tab. 3. Poloměr ohybu neutrální osy se vypočítá dle vztahu (3.1.). Stanovení délky neutrální osy v místě ohybu se provede dle vztahu (3.2.). Výpočet rozvinutého tvaru je dán vztahem (3.3.).

$$r = R + x \times t = [mm] \quad (3.1.)$$

kde:

R- vnitřní poloměr ohybu [mm],

x- součinitel posunutí neutrální osy,

t- tloušťka materiálu [mm].

Tab. 3. Hodnoty součinitele „x“ [60]

R/t	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,2	1,5	2	3	4	nad 5
x	0,2	0,29	0,32	0,35	0,37	0,38	0,39	0,4	0,41	0,42	0,44	0,45	0,46	0,47	0,5

Výpočet délky neutrální osy v místě ohybu

$$L = \frac{\pi \times \rho \times \gamma}{180} = [mm] \quad (3.2.)$$

➤ Výpočet rozvinuté délky:

$$L = \sum l_i + \sum a_i = [mm] \quad (3.3.)$$

kde:

ρ - poloměr neutrální plochy [mm],

γ - úhel ohnutého úseku [°],

α - úhel ohybu [°],

l_i - délka neutrálních ploch v ohybech [mm],

a_i - délka neutrálních ploch v rovných částech [mm],

3.2 Minimální a maximální poloměr ohybu [60] [16] [22]

➤ Minimální poloměr

S klesající hodnotou poloměru ohybu dochází k nabývání napětí na vnější straně materiálu. Jestliže dojde k překročení meze pevnosti, začínají se v místě ohybu tvořit trhliny. Minimální poloměr ohybu je uveden ve vzorci (3.4.) a závisí na tloušťce materiálu, tvrdosti a tažnosti.

$R_{\min} = (0,4 \text{ až } 0,8) \cdot t$ – pro měkkou ocel

$R_{\min} = 0,25 \cdot t$ – pro měkkou měď

$R_{\min} = 0,35 \cdot t$ – pro hliník

$$R_{\min} = \frac{t}{2} \times \left(\frac{1}{\epsilon_c - 1} \right) = p \times t = [mm] \quad (3.4.)$$

kde:

R_{\min} - minimální poloměr ohybu [mm],

ϵ_c - mezní prodloužení [-],

p - koeficient pro stanovení směru vláken ohýbaného materiálu [-],

➤ Maximální poloměr ohybu

Je to taková hodnota poloměru, kdy po odlehčení ohýbacích sil zůstane ohýbaný materiál ohnut. K tomu je zapotřebí trvalá deformace materiálu. K dosažení této podmínky je zapotřebí, aby napětí v materiálu na vnější straně ohybu přesáhlo meze kluzu. Toto se stanoví dle vztahu (3.5.).

$$R_{max} = \frac{t}{2} \times \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) = [mm] \quad (3.5.)$$

kde:

R_{max} - maximální poloměr ohybu [mm],

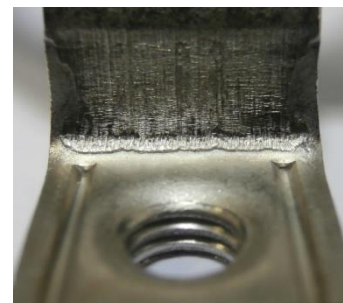
R_e - mez kluzu ohýbaného materiálu

E - Youngův modul pružnosti

3.3 Ohýbací síla a práce [7], [35], [45], [16] [60]

Aby byla ohýbací síla určena správně, musíme stanovit, jestli je materiál ohýbán do tvaru V nebo U. Tyto dva tvary ohybu jsou od sebe odlišné jak ve velikosti, tak i průběhu ohýbací síly. Ohyb do tvaru V – ohýbací síla prudce narůstá až do okamžiku, kdy dojde k překročení meze kluzu, dále už je nárůst pouze pozvolný. Naopak u ohybu tvaru U – ohýbací síla značně narůstá až do plastických deformací.

Místo s maximální hodnotou ohýbací síly nastane v okamžiku, kde se setkají v jedné rovině středy zaoblení ohybnice a ohybníku. Poté dojde k poklesu ohýbací síly a po chvíli k opakujícímu se nárůstu. Ohýbací síla se zvětšuje na konci ohybu díky kalibraci ohybu. Na obr. 56 je uveden průběh napětí a deformace při ohybu. Dle vztahů (3.6.) a (3.7.) se vypočítá velikost ohýbací síly a ohýbací práce.



Obr. 55. Viditelná stopa po ohybníku

➤ Výpočet ohýbací síly

$$F_{OH} = \frac{b \cdot t^2 \cdot R_e}{2 \cdot \rho} \cdot \frac{\tan \alpha}{2} = [N] \quad (3.6.)$$

➤ Výpočet ohýbací práce při ohýbání do tvaru V

$$A_{OH} = \frac{1}{3} \cdot \frac{F_{OH} \cdot L}{1000} = [J] \quad (3.7.)$$

kde:

F_{OH} - síla při ohýbání do tvaru V [N]

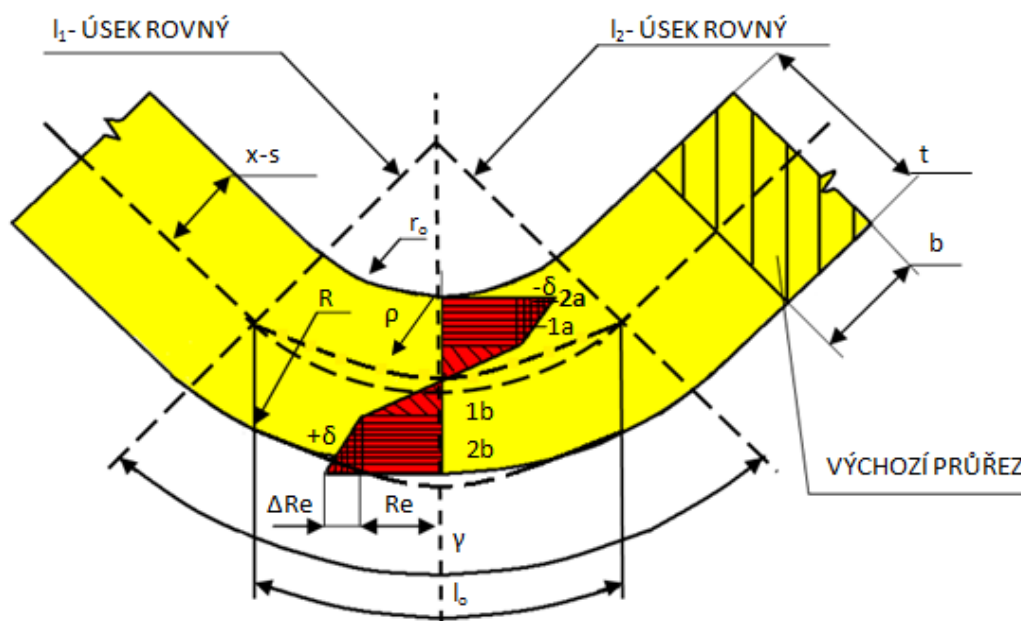
A_{OH} - práce při ohýbání do tvaru V [J]

α - úhel ohybu [°]

ρ - poloměr zaoblení středního vlákna [mm]

L - vzdálenost mezi podporami [mm]

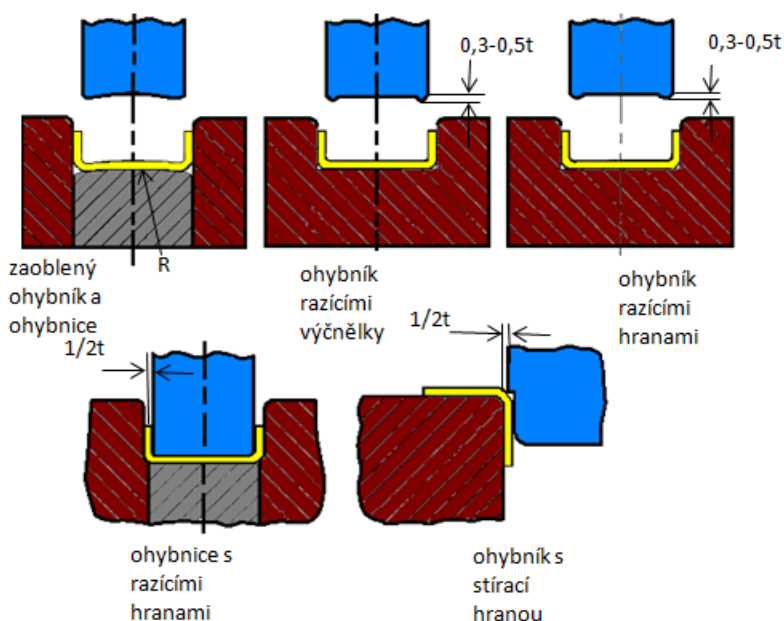
b - šířka plechu [mm]



Obr. 56. Průběh napětí a deformace průřezu $b \times t$ [60]

➤ Odpružení [8], [7], [17], [16], [22], [60], [58]

Ohyb se vyjadřuje jako pružně tvárná deformace. Pružná část deformace má za následek částečné vrácení neboli odpružení o úhel β viz obr. 99 v příloze. K odpružení dojde, jakmile na materiál přestane působit vnější síla. U jiných technologií je odpružení často zanedbáváno, ale u ohýbání má značný vliv na výsledný tvar a velikost výlisku. Odpružení se projeví úhlovou odchylkou od jmenovité hodnoty. Její význam roste s délkou ramen. Zpětné odpružení v ohybu dílce je způsobeno vlivem pružného deformování materiálu kolem neutrální osy. Hodnota velikosti úhlů odpružení závisí na velikosti poloměru ohybu, druhu materiálu a způsobu ohýbání. Veličina hodnot se pohybuje v rozsahu 3 až 15°. V příloze 2 je uvedena tabulka, ve které je stanovena hodnota úhlu β u jednotlivých materiálů.

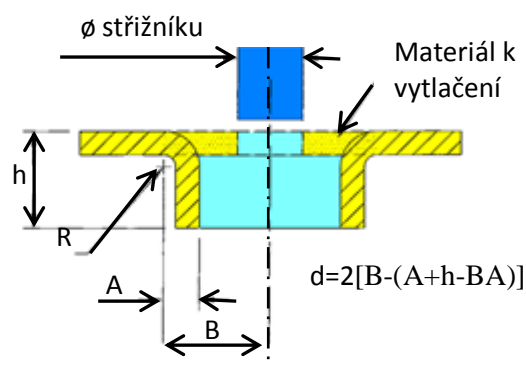


Obr. 57. Upravení ohybníků k minimalizování odpružení materiálu [58]

Existuje několik způsobů odstranění odpružení v ohybu, většina z nich využívá buď tvářecích výčnělků, nebo kalibrování (obr. 57). U způsobu ohýbání s oblým dnem znázorněném na (obr. 57) se dno ohýbané součásti po odlehčení ohybníku vrátí do vodorovné polohy, a tím se také přihnou strany výlisku směrem ke středu, takže nedojde k odpružení. Selektivní kalibrování materiálu může být použito i pro jiné účely např. pro strategické ražení pásů v ohybech. Účinek razicího procesu spočívá v přerušení toku stresových vláken, která za normálních okolností způsobují odpružení.

➤ Lemování otvorů [58]

Velikost a hloubka lisovaných tvarů se vypočítá stejným způsobem jako u ohybu. Konec konců průřezy lisovaných tvarů a ohybu jsou stejné. Většina lisovaných otvorů musí být nejprve prostřížena, aby bylo dostatek prostoru pro vtlačování razníku, který vytvoří rozměr lisovaného otvoru. Při výpočtu velikosti základního otvoru se musí posoudit délka vytlačené části, aplikovat potřebný přídavek na ohyb a odečíst výsledek z velikosti vytlačovaného tvaru. Všechny ostatní hodnoty jsou uvedeny na obr. 58.

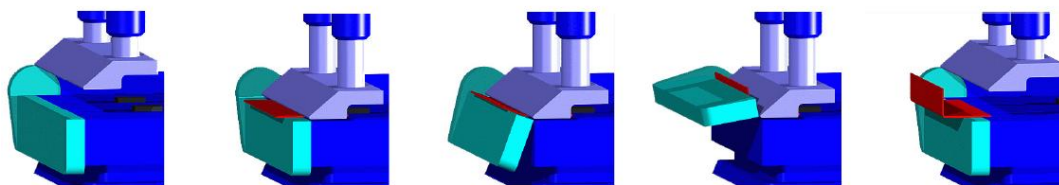


Obr. 58. Zjednodušený náčrt základních rozměrů lemovaného otvorů [58]

➤ Konstrukce nástrojů pro ohýbání [60] [5], [6], [28]

U standardního ohýbání rozeznáváme dva typy nástrojů. Konstrukce zvoleného ohýbadla je závislá na velikosti výrobní série. První typ ohýbadla je uchycen ke stolu a beranu lisu. Nástroj se upevňuje za pomoci upínek a stopky. Použitím vodících sloupků se docílí větší tuhosti a přesnosti ohýbadla. Mezi nejpoužívanější druhy vedení patří valivé (kuličkové nebo válečkové) a kluzné (samomazné nebo s nuceným mazáním). Druhý typ ohýbání je za použití ohraňovacích lisů. Součást je zde vyrobena za několika zdvihů lisů. Mezi výhody patří možnost ohýbání velkých tvarů výlisků. Pokud je zapotřebí dosáhnout složitějších tvarů výlisků, používají se speciálně upravené (zakřivené) ohybníky. Na obr. 59 je zobrazeno jednoduché ohýbadlo.

K ohýbání plechu se používají také způsoby, mezi něž patří technologie zakružování, lemování a rovnání. Tyto technologie mají hojné využití ve strojírenském průmyslu.



Obr. 59. Princip ohýbání na jednoduchém ohýbadle [60]

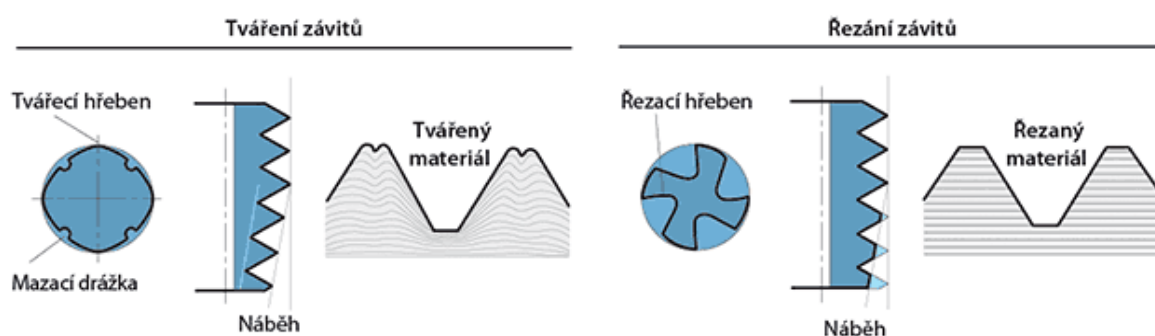
4 TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ VNITŘNÍCH ZÁVITŮ [24]

V běžné výrobě se převážná většina vnitřních i vnějších závitů zhotovuje standardním způsobem, tj. třískovým obráběním. U vnitřních závitů se uplatňují řezné závitníky, které tvoří závit postupným odřezáváním třísek až do požadovaného profilu a rozměru.

Z hlediska ekonomického je tento způsob nepřijatelnější v malosériové nebo kusové výrobě. Při zavádění nové velkosériové výroby vnitřních by se nemělo zapomínat, že existují i jiné způsoby výroby vnitřních závitů. Beztržisková výroba vnitřních závitů nabývá v poslední době na významu.



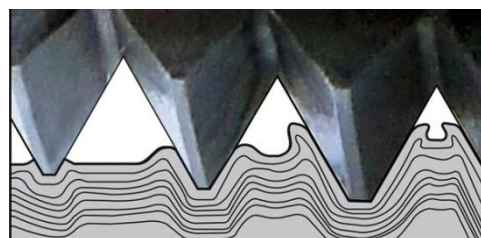
Obr. 60. Tvářecí závitník [15]



Obr. 61. Porovnání tvářecího a řezacího závitníku [6]

➤ Výhody použití tvářecích závitníků [24]

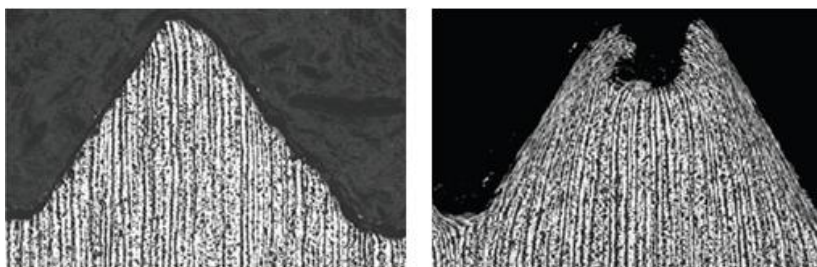
Tvářené závity jsou vytvářeny v předvrtaných otvorech bez oddělování třísek. Tato vlastnost má velký význam především v neprůchozích otvorech a tam, kde nejsou dobré podmínky pro odchod třísek. U klasické výroby závitů mohou odcházející třísky poškodit nástroj nebo závit. Velkou výhodou tvářeného závitu je lepší jakost a větší pevnost. Během tváření dochází ke zpevnění povrchu závitu zhuštěním materiálu a vlákna nejsou přerušena obr. 62.



Obr. 62. Zhuštění materiálu během tváření [24]

➤ Proces tváření závitu [24]

Zoubky tvářecího závítku se postupně vtlačují do materiálu a ten vznikajícím teplem měkne a zatéká mezi zoubky profilu tvářecího závitníku. Výsledkem tohoto tváření je závitový profil, jehož boky mají nižší drsnost povrchu než u řezaného závitu. Typickým znakem tvářeného závitu jsou neúplně utvořené vrcholy (obr. 63), které ale nemají žádný vliv na pevnost závitu, neboť zatížení závitových spojení jsou na bocích závitového profilu a jeho nosné hloubce.



Obr. 63. Profil vláken řezaného závitu (vlevo) a tvářeného závitu (vpravo) [57]

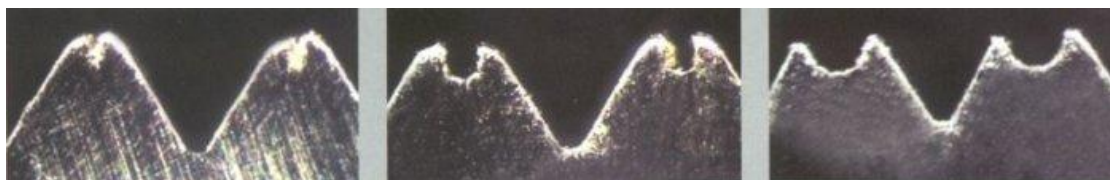
➤ Správná velikost předvrtaného otvoru [24]

Tab. 4. Velikost vyvrtaných otvorů pro tvářecí závitníky [24]

ISO metrický závit		
závitník M	malý průměr závitu [mm]	průměr otvoru [mm]
3	2,599	2,78
3,5	3,01	3,23
4	3,422	3,69
5	4,334	4,65
6	5,153	5,56
8	6,912	7,45
10	8,676	9,34
12	10,441	11,23
14	12,21	13,12
16	14,21	15,12

Velikost předvrtaného otvoru je velmi důležitá pro úspěšné použití metody tváření závitů. Všeobecně platí, že předvrtaný otvor pro tváření je větší a jeho tolerance musí být podstatně menší než u řezaného závitu. Přesnost vyvrtaného otvoru se pohybuje od 0,05 mm do M8 a 0,1 mm nad M8. Velikosti předvrtaných otvorů pro tváření závitů jsou uvedeny v tab. 4.

Podstatou tvářeného závitu je přemísťování materiálu dovnitř otvoru. Zde vytlačený materiál musí dosáhnout hodnoty malého průměru matice. Při nedodržení tolerance předvrtaného otvoru dochází ke dvěma jevům. Při příliš velkém otvoru nebude mít profil závitu předepsanou hodnotu. Při příliš malém otvoru hrozí riziko poškození tvářecího závitníku nebo se závit nepodaří vytvořit vůbec. Z výše uvedeného vyplývá, že při technologii tváření závitů je velmi důležitá stabilita rozměru



Obr. 64. Závislost předvrtaného otvoru na profilu závitu Také [48]

předvrtaného otvoru (obr. 64). Většina výrobců tvářecích závitníků doporučuje optimální rozměry předvrtaných otvorů pro jednotlivé velikosti závitů, ale navzdory tomu by se měly tyto rozměry určit zkouškou.

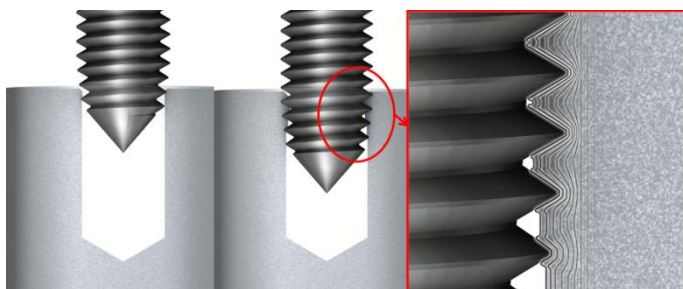
4.1 Technologie tváření vnitřních závitů [24]

K dosažení správného průběhu tváření závitů je zapotřebí splnit některé podmínky:

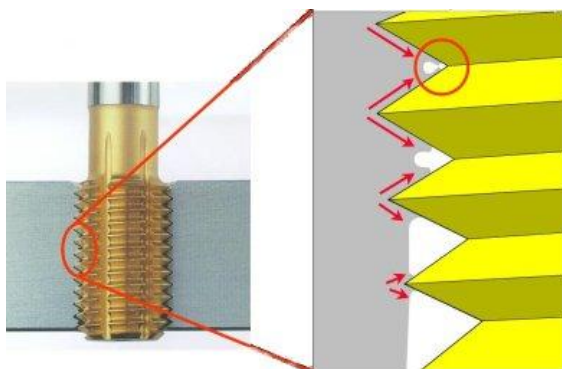
- výběr správného výrobního zařízení
- příprava otvoru (sražení hran)
- použití vhodného oleje (ke snížení tření)
- závitovací rychlost nástroje (neměla by být větší jak $10\text{--}15\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, u neželezných kovů by neměla klesnout pod $20\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$)

➤ Konstrukce tvářecího závitníku [24]

Tvářecí závitník oproti řezacímu závitníku má odlišnou konstrukci. U tvářecích závitníků chybí podélné drážky, které u řezacího závitníku tvoří čela břitů. Na začátku tvářecího závitníku je náběhový tvářecí kužel a za ním pak následuje kalibrační část. Náběhový kužel (obr. 65) přemísťuje materiál a kalibrační část jen kalibruje vytvářený závit. Délka



Obr. 65. Tvářený závit [63]



Obr. 66. Průběh tváření závitů [48]

náběhového kužele je standardně rovna délce tří stoupání závitu (obr. 66), proto je nutné počítat s délkou náběhového kužele u neprůchozích otvorů. Tvářecí závitník má průřez mnohoúhelníku, od 3 až do 5 zaoblených vrcholů. Tvar mnohoúhelníku umožňuje pronikání řezného oleje k pracovní části závitníku. Závitníky mohou být opatřeny úzkými a mělkými drážkami pro lepší přívod oleje a zároveň umožňují únik vzduchu a oleje z tvářeného otvoru. Tvar příčného profilu má vliv na

velikost tvářecí síly a tím i na krouticí moment. Tvářecí závitníky se vyrábějí z vysoce výkonné rychlořezné oceli a jejich pracovní část bývá povlakována ke snížení tření a zvýšení trvanlivosti.

➤ Ekonomika technologie tváření vnitřních závitů [24]

Za správných podmínek je metoda tváření kovů jednodušší a ekonomičtější oproti řezání závitů. Mezi další výhody patří vyšší trvanlivost (až 10x vyšší než u třískového obrábění) a až o 100 % vyšší řezná rychlost u tvářecích závitníků než u klasických závitníků, což má za následek kratší pracovní časy. Tvářecí závitníky nelze obnovovat, tzn. že se nepřeostřují, a tím odpadají náklady na údržbu nástrojů. Tváření závitů patří mezi nejprogresivnější metody výroby závitů. Její přednosti se nejvíce projeví v sériové výrobě.



Obr. 67. Součást vyrobená v postupovém střížném nástroji [56]

Dodržením pravidel se nejedná o metodu náročnou, ale zatím spíše neznámou. Na obr. 67 jsou znázorněny příklady součástek vyrobených tvářeným závitem.

➤ **Nýtování ve střížném nástroji**

Nýtování kontaktních kolíků (dutinek) ve střížném nástroji je další operace, kterou lze realizovat za pomoci automatizace. Ruční nýtování i ruční vkládání kolíků je těžké a pomalé, provádí-li se jako samostatná montážní operace. Vkládané kolíky nejsou vždy dostatečně velké pro obsluhující prsty a často vypadávají z ruky nebo se špatně vkládají.



Obr. 68. Díly vyrobené ve střížném nástroji s nýtovací jednotkou

Nýtování ve střížných nástrojích využívá standardní vzduchové podávání vybavené přizpůsobeným postupovým mechanismem. Dodávání součástí pomocí plnicích trubic do matrice se provádí pomocí stlačeného vzduchu. Při použití duálních podavačů je možné vkládat dva druhy kolíků najednou. Na obr. 69 je zobrazena vibrační polohovací a podávací jednotka. Pro monitorování správného osazení kolíků a kvality dílců se používají optické senzory, kterými lze sledovat, jak přítomnost kolíku, tak i třeba správnou délku. Senzorů je třeba zapotřebí i u vzduchového podávání ke kontrole správného navádění kolíků do nástroje. Všechny tyto senzory je zapotřebí integrovat do nástroje už při jeho výrobě. Na obr. 68 jsou konektorové díly vyrobené ve střížném nástroji.



Obr. 69. Vibrační podávací technika [28]

➤ **Odporové svařování ve střížném nástroji [58]**

Svařování ve střížném nástroji dosáhlo v posledních letech velké popularity. Před lety by se nikdo ani neodvážil myslet na připevnění bodové svářečky k postupovému stříhadlu. Je třeba si uvědomit, že před časem nebyly tak rozšířené bezkontaktní senzory, jako jsou v dnešní době, a bez těchto senzorů by svařování v nástroji nebylo prakticky možné. Senzory jsou nutné k zajištění úplné ochrany střížného nástroje. Zajišťují důkladné sledování celého procesu, do kterého patří kontrola délky posuvu, výpad vystříženého odpadu a další

kontrolní funkce, které jsou ve výrobě nezbytné. Navařené předměty se musí sledovat pro dodržení jejich správného umístění v stříhaném dílu.

Svařovací elektrody mohou být umístěny před, za i uprostřed nástroje, záleží na požadavcích vyráběného dílce a na konstrukci střížného nástroje. Horní elektroda vyvíjí tlak na



Obr. 70. Postupový nástroj s odporovým svařováním [40]

svařované materiály. Tento tlak musí být pečlivě sledován a řízen společně s velikostí svařovacího proudu PLC systémem. Přítlak neslouží jen k udržení svařovaných součástí na daném místě, ale je nezbytným pro zajištění správného kontaktu svařovaných materiálů a elektrod. Vytvoření pevného spojení může být ve střížném nástroji poměrně složité, a to kvůli negativním vlivům, mezi které patří olej, tuk nebo nečistoty na povrchu materiálu.

K odporovému svařování dochází při dotyku povrchů obou částí, které jsou k sobě stlačeny. Některé součásti nejsou vždy zcela ploché, často bývají mírně zkroucené



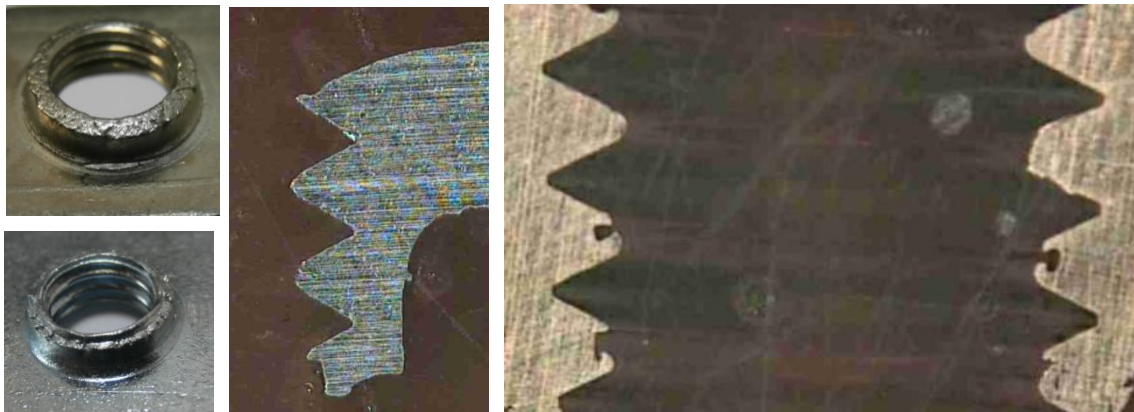
Obr. 71. Vzniklé spojení odporovým svařováním

a z těchto důvodů jsou komponenty, které mají být svařením spojeny, opatřeny malými výčnělky pro dosažení pozitivního kontaktu obou součástí. Výčnělky jsou umístěny na té straně, která bude ve styku s druhým materiálem. Existují dva způsoby úpravy povrchu přivařovaného prvku. První způsob spočívá v umístění tří výčnělků na přivařovaný díl (matice, šroub) (obr. 71). V druhém způsobu je na jedné ze stran přivařovaného dílu hřebínkovitý profil. V automatickém svařování ve střížném nástroji (obr. 70) musí být přítomny senzory, které zjistí zaseknuté navařované díly, a také senzory, které budou sledovat elektrický proud dodávaný ze svářečky.

Překvapivé je, že skutečná doba svařování je velmi krátká, často se měří v milisekundách. Teoreticky umožňuje až 600 svarů za minutu. To lze považovat za platné pouze tehdy, pokud jsou materiál pásu a komponenty, které mají být svařované, v tak krátkém čase dodány a správně umístěny do střížnice. U svařování sypaných dílů je doručení na místo svařování provedeno pomocí vibračního bubnu nebo vzduchového podávání. Je možné i svařování dvou pasů ve střížném nástroji, po kterém ale musí dojít k odstřižení jednoho z nich.

➤ Závítování ve střížných nástrojích

Před nedávným časem se zdálo nemožné spojení technologie stříhání s technologií výroby závitů. Se stále zvyšujícím se uplatněním závitů u plechových dílů (obr. 72) a požadavků na snižování výrobních nákladů byly postupně vyvinuty tři různé způsoby

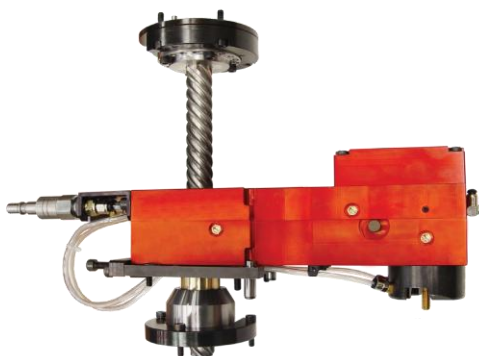


Obr. 72. Závít vyrobený v ocelovém a bronzovém plechu

výroby závitů ve střížném nástroji:

- řezání závitů s externím vodícím šroubem
- řezání závitů s vnitřním vodícím šroubem
- řezání závitů hřebenovým systémem
- řezání závitů elektrickou závitovací jednotkou

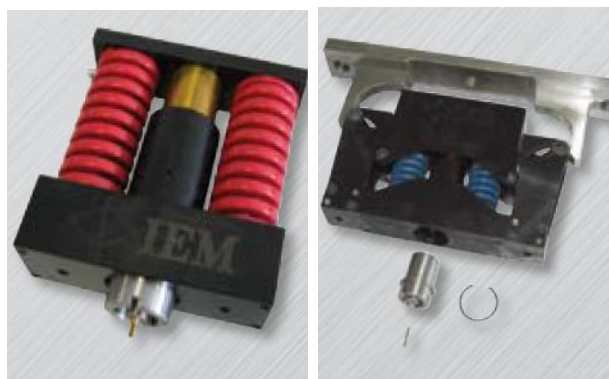
Systém externího vodícího šroubu (obr. 73) používá řadu ozubených kol, která jsou poháněna pomocí šroubové spirály vedoucí k beranu lisu. Vodící šroub se neotáčí, pouze pohání ozubené soukolí, které vytváří a přenáší pohyb potřebný pro výrobu závitu. Délka dráhy závitové hlavy s ohledem na cestu beranu se nastavuje změnou převodového poměru. Ozubenými koly lze dále ovlivnit velikost stoupání závitu, kterou lze využít společně s násobitelem roztečí u výroby s více závity rozdílných stoupání. Závít lze vyrábět ve svislé, vodorovné poloze nebo pod libovolným úhlem.



Obr. 73. Externí šroubový závitový systém [48]

V případě, že je dráha závitníku příliš dlouhá, můžeme využít tlumiče závitové kazety, který zamezuje možnému zničení závitníku. V opačném případě, kdy je dráha závitníku příliš krátká, lze použít redukci, která zdvojnásobuje délku závitníku (použití hlavně u vodorovných závitů).

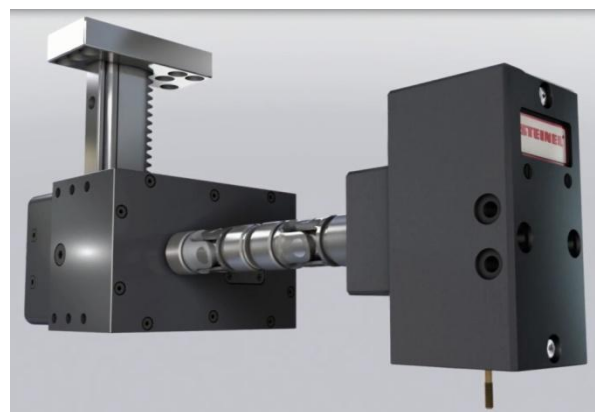
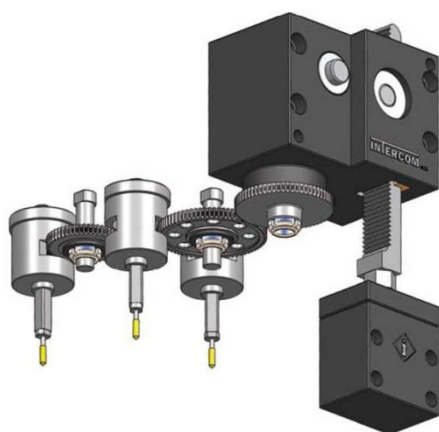
Vnitřní systémy vodícího šroubu (obr. 74) závisí na vačce pro převod pohybu beranu na pohyb závitníku pro určité hloubky. Vodicí šroub se roztáčí maticí na své cestě dolů, zpětný pohyb způsobují pružiny. Systém může být navržen jako vertikální nebo horizontální podle požadavků uživatele. Vodicí šroub a matice jsou umístěny uvnitř vzhledem k přesným montážním a převodovým požadavkům. Vačka, jako hnací zdroj síly přes soukolí, má určitou výhodu, kterou je nezávislost řezání závitu na změně zrychlení beranu. Změna úhlu je možná tím, že se vymění vložka v závitové hlavě.



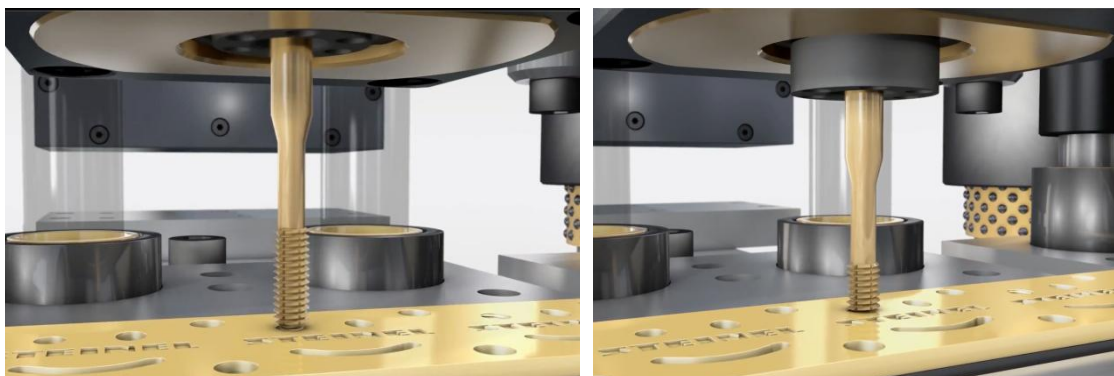
Obr. 74. Vnitřní závitová jednotka [26]

Hřebenový závitový systém (obr. 75) je podobný režimu vnějšího vodícího šroubu, rozdíl je v nahrazení šroubového vedení za hřebenový systém. Řezání více závitů může být provedeno pomocí připojení řetězových pohonů hnaných hlavním poháněcím systémem.

Umístění závitovacího zařízení se musí vzít v úvahu už při plánování konstrukce nástroje. Dodatečné umístění do již vyrobeného nástroje je velmi obtížné, často i nemožné. K dovybavení již existujících střížnic se bude nejčastěji dařit špatně, protože potřebné požadavky závitovacího zařízení na umístění nepůjde splnit. Velikost zdvihu přítlačné desky musí být aspoň rovna velikosti zdvihu závitovacího zařízení. Kromě toho musí být alespoň střížnice upravena tak, aby bylo možné mazání systému a výměna závitových jednotek. Na obr. 76 je znázorněno vysouvání závitníku z jednotky.



Obr. 75. Externí hřebenový závitový systém [56] [27]



Obr. 76. Znáznornění vysouvání závitníku z jednotky během výroby závitu [56]

Formování závitů pomocí servomotoru

Elektronická závitovací jednotka (obr. 77) není odkázaná na zdvih lisu, ale je poháněna servomotorem. Dráha formovače se spustí externím nebo interním startovacím signálem. Elektronická jednotka může podle potřeby vrtat a otáčet šrouby.

Použití:

- při velmi velkém zdvihu přes 600 mm
- v lisech, lisovacích automatech a servo-lisech
- autonomní formování závitů
- postupová lisovadla s různými zdvihy lisu
- jedno- a mnohonásobné závitovací technologie
- kontrola kvality a bezpečnost procesu
- formování závitů pod úhlem



Obr. 77. Elektrická závitovací jednotka [56],

Ovládací panel:

Pracovní úkony jsou elektronicky ovládané mimo jednotku programovatelnou pamětí z ovládacího panelu (obr. 78). Do jednoho ovládacího panelu může být připojeno až šest jednotek současně.

Programování:

Nezávislé programování pracovního procesu se uskutečňuje prostřednictvím obslužné jednotky. Ovládání zahrnuje základní program podle funkce a může být parametrizován dle požadavků zákazníka. Je možné zřídit až 10 různých programů na každou jednotku.

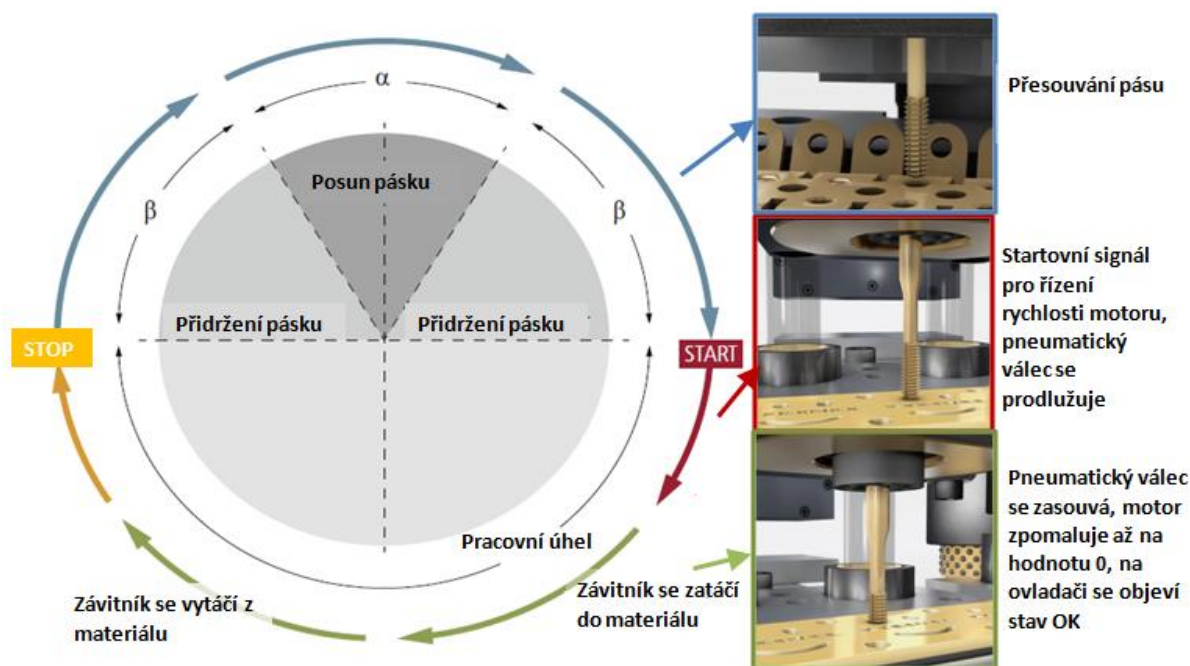


Obr. 78. Ovládací panel od firmy STS systec [57]

Průběh (obr. 79):

1. signál startu
2. zrychlení motoru → výjezd berana
3. dosažení min. otáčecího momentu → vypnutí tlakového vzduchu
4. vsunutí formovače stoupáním do díry jádra
5. dosažení hloubky závitu → vytočení formovače

6. zapnutí tlakového vzduchu při dosažení počátečního bodu závitu
7. návrat berana do startovací pozice



Obr. 79. Pracovní cyklus elektrické závitové jednotky [56],

➤ Lisovací matice a šrouby

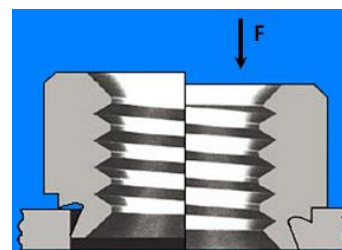
Lisovací matice a šrouby jsou revoluční upevňovací systémy pro spojování šroubů a matic k plechu v průběhu operace lisování kovů. Výsledné připojení má výborný torzní a tlačný odpor. Tento upevňovací systém je vhodný pro širokou škálu aplikací.

➤ Výhody lisovacích prvků:

- lisovací součástky jsou nezávislé na tloušťce kovu
- minimalizování vnitřní dopravy mezi výrobními operacemi
- snížení výrobních nákladů v důsledku menšího počtu výrobních operací

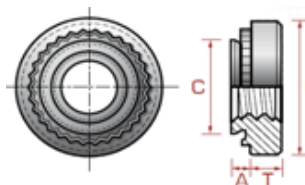
Lisovací šrouby a matice (obr. 81) mohou být lisovány do předvrtaných kovových dílů, vyrobených z oceli nebo hliníku, v průběhu operace lisování pomocí progresivních nástrojů (obr. 80). Výsledkem jsou plechové díly, které jsou připraveny k montáži při splnění všech požadavků na instalaci a použití:

- lisovací šrouby a matice z M5 do M12
- lisovací prvky jsou nezávislé na tloušťce plechu
- použití na vysoce kvalitních materiálech i hliníku
- dosažení spojení vysoké pevnosti v tahu



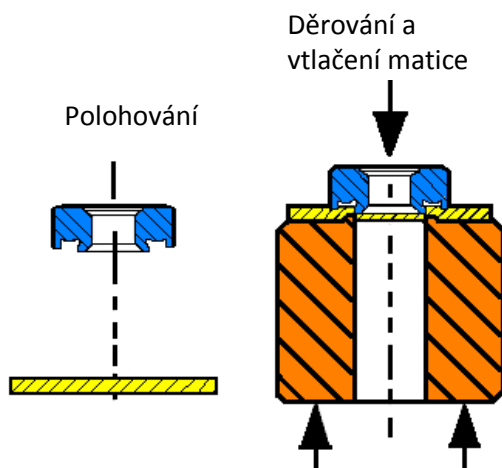
Obr. 80. Průběh lisování matic [12]

- žádné škody na ploše
- velmi vysoká polohová přesnost
- vodotěsné spojení



Obr. 81. Základní parametry lisovacích matic [12]

STM matice (obr. 82) se používají, kdykoli je potřeba matice spojit



Obr. 82. Speciální lisovací matice schopné prostřihu materiálu [52],

s neproděrovaným plechem. Spoj je tvořen vlastním otvorem děrovací matice, následuje stlačení materiálu do žeber a pod „límeč“. U tohoto druhu spoje je vyšší torzní a tlačný odpor, což umožňuje použití u spojení s většími požadavky na spojení.

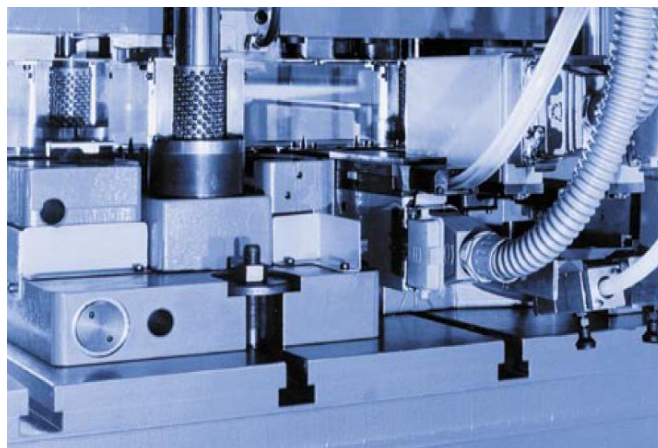
➤ **Výhody lisovacích prvků:**

- standardní matice v rozmezí M5-M8
- rozměry matic pro tloušťku plechu 0,6-1,3 mm a 1,4-2 mm
- vysoká pevnost a odolnost vůči tlaku vzhledem k radiální deformaci matice
- vysoká polohová přesnost
- automatická montáž spojovacích prostředků v průběhu lisování
- vodotěsné spojení

Dodávání lisovacích součástí do nástroje může

být prováděno různými způsoby:

- zásobování s integrovanou zásobovací jednotkou
- vkládání spojovacích prostředků automatickou rukou
- zásobování prostřednictvím „plnitelné trubky“
- zásobování s připojenou standardní podávací jednotkou



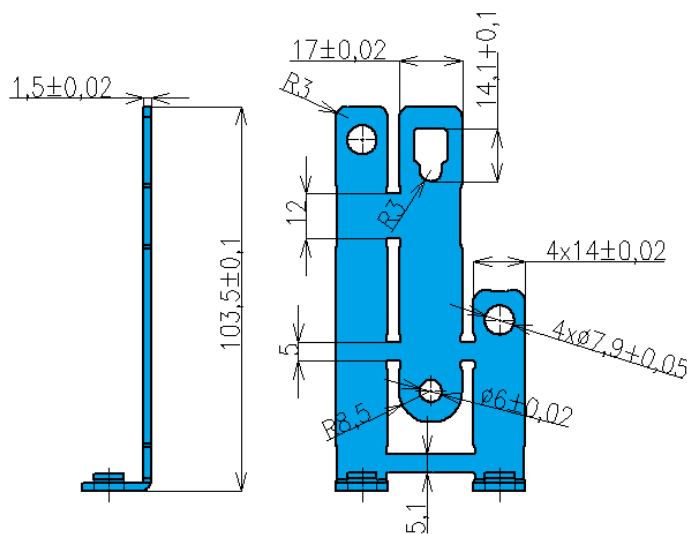
Obr. 83. Princip zásobování „plnitelnou trubkou“ [52]

5 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTI [31] [62] [60]

Předpokládaná velikost výrobní série pro zadanou součást je 1 600 000 ks za rok. Jako nejvhodnější pro takové množství dílů byla vybrána technologie stříhání a ohýbání v postupovém nástroji. Spojením těchto technologií získáme sdružený postupový nástroj. Zadanou součástí je konektor (vodivá dráha) použitý u klimatizace v automobilu, a proto byl vybrán materiál bronz CuSn6. Základní mechanické vlastnosti jsou zobrazeny v tab. 5. Konektory budou vyráběny ve výrobní dávce o velikosti 2 500 ks v sypaném stavu do plastové přepravy. Tvar vyráběné součásti je zobrazen na obr. 84.

Tab. 5. Základní mechanické vlastnosti a chemické složení bronzu CuSn6 [31]

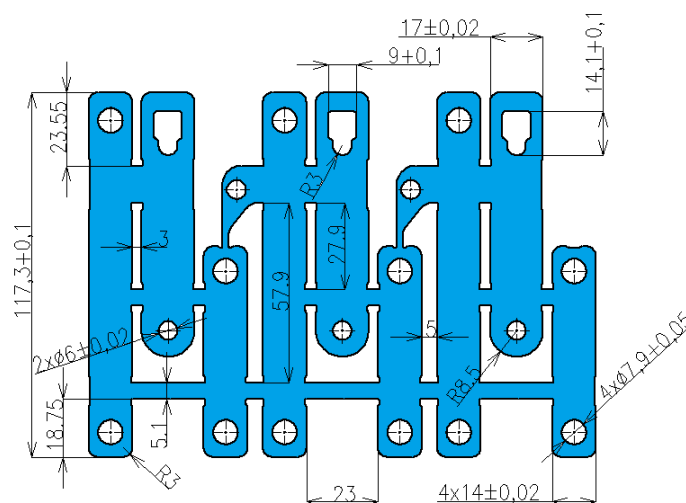
Bronz CuSn6					
Mechanické vlastnosti	Smluvní mez kluzu Re [MPa]	min. 260	Chemické složení	Cu [%]	Zbytek
	Mez pevnosti Rm [MPa]	420-550		Sn [%]	5,5-7
	Tažnost A ₅₀ min [%]	17		P [%]	0,01-0,35
	Tvrdost [HV]	80-110		Ni [%]	do 0,3
	Stav materiálu	R 420		Zn [%]	do 0,3
	Hustota [g/cm ³]	8,8		Fe [%]	do 0,1
	Teplotní roztažnost [10 ⁻⁶ / K]	18,5		Pb [%]	do 0,05



Obr. 84. Rozměry finálního dílce

5.1 Stanovení délky rozvinutého tvaru

Programu Pro Engineer, ve kterém byl vymodelován tvar finálního výlisku, byl zároveň použit pro stanovení rozvinutého tvaru dílce (obr. 85).

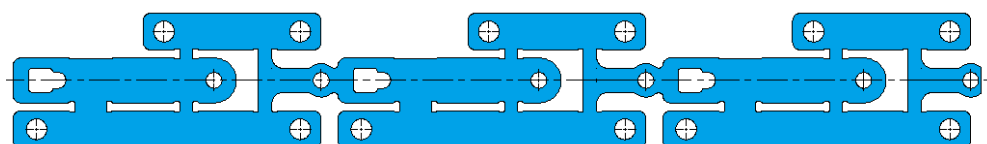


Obr. 85. Rozměry rozvinutého tvaru

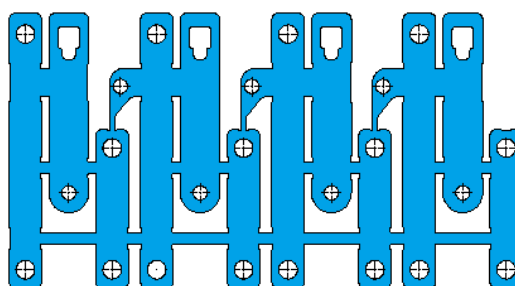
➤ Rozmístění výstřižku v nástřihovém plánu

Z technologického a ekonomického hlediska je velmi důležité neoptimalnější umístění rozvinutého tvaru výstřižku do zvoleného základního materiálu (svitek bronzového pasu). Rozvinutý tvar konektoru by se dal přirovnat k obdélníku o velikosti 125x56 mm. Základní dvě varianty rozložení výstřižku jsou zobrazeny na obr. 86. Varianta 2 se jeví jako vhodnější z důvodu menšího kroku navrhovaného nástroje, na kterém je závislá rychlost lisu (za stejný čas posouvá menší délku).

Varianata 1



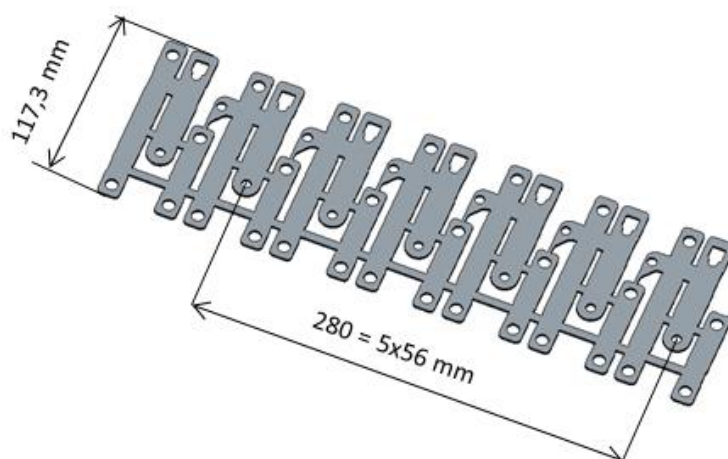
Varianata 2



Obr. 86. Rozmístění konektorů na nosný pásek

➤ Rozměry nástřihového plánu

Při určení velikosti polotovaru se vycházelo z rozvinutého tvaru výlisku a z doporučených šířek přepážek mezi jednotlivými výstřižky. Velikost kroku byla zvolena na 56 mm a šíře pasu na 125 mm viz obr. 87.

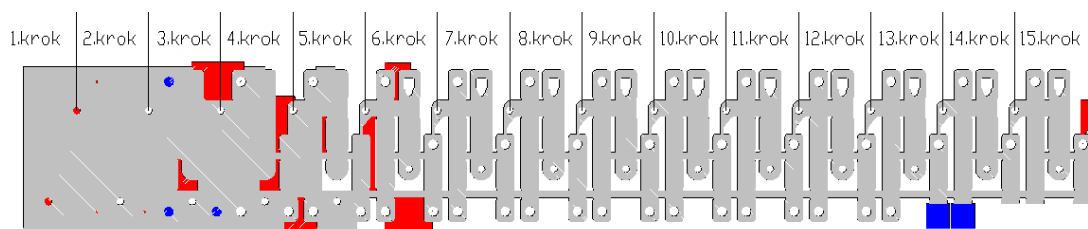


Obr. 87. Stanovení velikosti kroku a šíře pásu

5.2 Volba postupu výroby

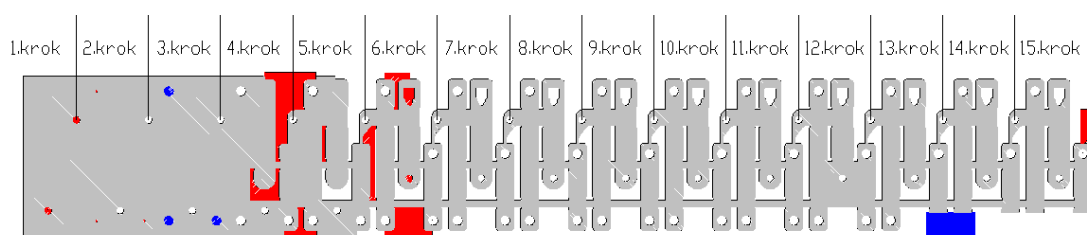
Při navrhování střížného plánu se zároveň stanovuje postup výroby součástí v nástroji, při nichž je zapotřebí dodržet některé základní technologické postupy. Při navrhování se vycházelo ze dvou základních variant (obr. 88) a (obr. 89).

Varianta 1



Obr. 88. Varianta 1

Varianta 2



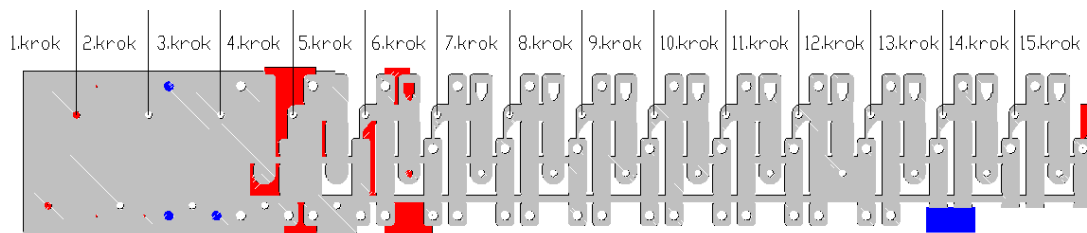
Obr. 89. Varianta 2

Varianta 2 se jeví jako vhodnější, a to z důvodů menšího počtu střížníků a také jejich velikosti (větší tuhost střížníků).

➤ Volba postupu výroby

Bylo rozhodnuto o sdruženém postupovém nástroji, čítajícím 15 kroků (obr. 90). V prvním kroku dojde k vystřížení kulatých otvorů sloužících k nahledání pásu. Druhý krok slouží k přesnému nahledání (napolohování) stříhaného pásu. V témže kroku dojde také k vystřížení 3 kulatých otvorů o $\varnothing 2,5$ mm. V třetím kroku jsou rozšířeny otvory ohybem okrajů. Ve čtvrtém až šestém kroku dochází ke stříhu rozvinutého tvaru. V kroku

8 až 12 je provedeno tváření závitů. V kroku 13 a 14 dochází k ohnutí konektorové části. V kroku 15 až 16 je konektor odstřižen a následuje výpad z nástroje.



Obr. 90. Popis postupu stříhání

5.3 Volba polotovaru

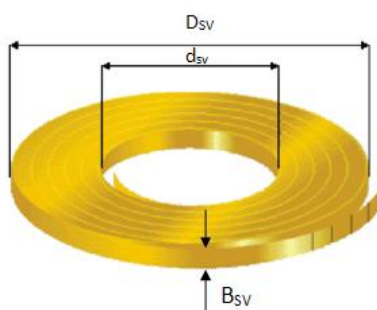
Pro zadaný konektor byl zvolen jako polotovar svitek bronzového pásu CuSn6 R420. Zvolené pracoviště je vybaveno lisem EBU, horizontálním automatickým odvíjením s rovnacím zařízením, které umožní zpracování svitků větších hmotností. Toto řešení minimalizuje vedlejší časy potřebné pro výrobu = menší náklady na výrobu. Maximální průměr svitků je omezen velikostí palety. Klasická europaleta má rozměry 1200 x 800 mm. Někteří z dodavatelů materiálů nabízí možnost dodání svitků na atypické kruhové paletě o průměru až 2 m. Vnitřní průměry cívky mívají jednotný průměr 500 mm. K výrobě z takto velkých svitků je zapotřebí manipulační techniky, která bude schopná převážet a zvedat takto velké hmotnosti (i přes 3 t).



Obr. 91. Uložení svitků na paletě [2]

➤ Volba rozměrů svitku:

Dnešní válcovny plechů nabízí zákazníkům rozsáhlé možnosti druhu materiálu i flexibilitu v rozměrech svitků (obr. 92). Při stanovení velikosti svitku pásu budeme vycházet z velikosti dřevěné euro-palety (12 000 x 800). Z důvodu maximální nosnosti odvíjecího zařízení je hmotnost cívky omezena na 2000 kg. Jednotlivé cívky budou proloženy dřevěnými proložkami. Paleta se svitky bude proti prachu těsně zabalena stahovací folií.



Obr. 92. Schéma svitku materiálu [13]

šíře pásu: BSV = 125 mm

vnitřní průměr: $d_{sv} = 500$ mm

vnější průměr: $D_{sv} = 900$ mm

hmotnost jednoho svitku: 483 kg

Při výpočtu množství kusů vyrobených z jedné cívky je zapotřebí brát v úvahu tento údaj jako přibližný, v praxi se může lišit až v tisíci kusech. Tato odchylka je závislá na velikosti kroku a velikosti zbytku pásu, který se nedá zpracovat (vzdálenost mezi nástrojem a podávacím zařízením) a na počtu rozjezdových dílců (provádí se seřízení na požadované rozměry).

➤ Mez pevnosti ve střihu

Mez pevnosti zvoleného materiálu je uvedena v tab. 5. Garantovaná hodnota výrobce pásu je $R_m = 420 \div 550$ MPa. Do následujících výpočtů v této rovnici byla zvolena hodnota bronzového plechu $R_m = 550$ MPa.

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m = 0,8 \cdot 550 = 440 \text{ MPa}$$

5.4 Výpočet střížné a ohýbací síly

V kapitole 2.2 jsou kromě vztahu pro výpočet střížné síly uvedeny vzorce, které jsou nutné pro zjištění hodnot na otláčení a na vzpěr. Zpravidla se pro kontrolu vzpěru a otláčení vybere nejrizikovější střížník (nejštíhlejší, nejtenčí). U navrhovaného nástroje byly jako nejrizikovější vybrány kulaté střížníky $\varnothing 2,5$ mm a $\varnothing 6,1$ mm. V tab. 3, která je uvedena v příloze 2, jsou provedeny výpočty střížných sil a jejich souřadnice.

➤ Výpočet celkové střížné síly

Celková střížná síla je dána součtem sil jednotlivých střížníků.

$$F_{S_{celk}} = 2 \cdot F_{\varnothing 6,2} + 2 \cdot F_{\varnothing 2,5} + F_{tvar.} + \dots + F_{tvar.} = [N]$$

$$F_{S_{celk}} = 719935,14 \text{ N}$$

➤ Výpočet střížné práce

Součinitel plnosti diagramu byl zvolen $\lambda = 0,64$.

$$A = 0,64 \cdot 719935,1 \cdot 1,5 = 691\,137,69 \text{ J}$$

➤ Výpočet střížné mezery

Součinitel závislý na stupni střihu je zvolen $c = 0,01$.

$$m_s = 0,32 \cdot 0,01 \cdot 1,5 \cdot \sqrt{440} \cong 0,11 \text{ mm}$$

➤ Výpočet střížné vůle

$$v = 2 \cdot m_s \Rightarrow v = 2 \cdot 0,11 = 0,22 \text{ mm}$$

➤ Výpočet ohýbací síly

V příloze tab. 6 je popsán výpočet ohybu konektoru.

$$F_{OH} = \frac{c \cdot R_m \cdot b \cdot t^2}{a} = \frac{0,4 \cdot 550 \cdot (2 \cdot 14) \cdot 1,5^2}{(1 + 1,5 + 1,4)} = 3553,84 \text{ N}$$

➤ Výpočet lemovací síly

V příloze je popsán výpočet olemování otvoru konektoru.

$$3 \cdot F_{lem.} = 0,7 \cdot t \cdot (d_1 - d) \cdot R_m = 0,7 \cdot 1,5 \cdot (4,9 - 2,5) \cdot 550 = 1386 \text{ N}$$

➤ Výpočet celkové ohýbací síly

Celková ohýbací síla je dána součtem síly lemovací a ohybové.

$$F_{OH_{celk.}} = F_{ohyb.} + 3 \cdot F_{lem.} = [N]$$

$$F_{OH_{celk.}} = 3553,84 + (3 \cdot 1386) = 7711,84 \text{ N}$$

➤ Výpočet ohýbací práce

$$A_{OH} = \frac{1}{3} \cdot \frac{7711,84 \cdot 10}{1000} = 25,7 \text{ J}$$

Součinitel respektující průběh ohybové síly - běžně se volí hodnota $= 1/3$.

➤ Celková síla potřebná k vyrobení výstřižku

Tato část je jednou z nejdůležitějších ze všech výpočtů. Na základě vypočtené hodnoty se definuje specifikace lisu. Výpočet je dán součtem střížné, ohybové síly, lemovací síly a odporu k překonání pružin nacházejících se pod přidržovací deskou a pod nadzvedávkou. Síla potřebná k vytvoření závitů je vyvinuta zavinovací jednotkou, a proto není počítána. Detailní výpočet síly pružin je uveden v příloze tab. 5.

$$F_{celk} = F_{s_{celk.}} + F_{OH_{celk}} + F_{pruž_{celk.}} = [N]$$

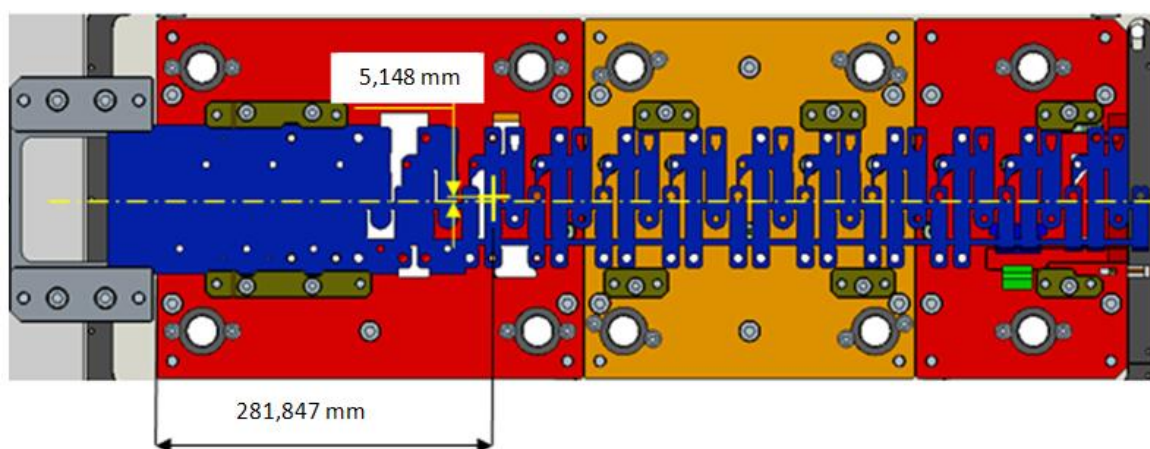
$$F_{celk} = 719935,14 + 7711,84 + 144946 \approx \mathbf{872593\ N}$$

5.5 Výpočet těžiště nástroje

Programem Creo Parametric byly získány obvody navržených tvarů střížníků a souřadnice jejich těžišť, které jsou uvedeny v příloze v tab. 6. Na jejich základě byla stanovena celková střížná a ohybová síla. Následně bylo stanoveno těžiště postupového nástroje (tab. 6). Zjištěné souřadnice těžiště byly zaneseny do postupového nástroje (obr. 93).

Tab. 6. Vypočítaný střed těžiště nástroje

ΣF_{s+o}	727647	poloha těžiště	
$\Sigma F_{ix} \cdot x$	2,1E+08	střed x =	281,8
$\Sigma F_{iy} \cdot y$	3746054	střed y =	5,1



Obr. 93. Poloha těžiště v navrhovaném nástroji


➤ Volba stroje [60]

Na základě vypočítané hodnoty tvářecí síly (872593 N) byl zvolen rychloběžný lis od firmy Bruderer, a to typ Bruderer 1250 kN viz obr. 94.

Švýcarská firma Bruderer patří mezi nejznámější výrobce rychloběžných lisů. Tyto lisy jsou známy svou velkou spolehlivostí, precizností a vysokou produktivitou. Lisy této značky jsou na trhu k dostání o velikosti lisovací síly od 180 do 2 500 kN a nabízejí maximální rychlost až 2000 zdvihů za minutu. Těmito vlastnostmi nacházejí největší uplatnění při výrobě kontaktů pro elektrotechniku nebo při výrobě rotorových či satorových plechů. Konstrukční řešení lisů zaručuje vysokou tuhost a přesnost vedení beranu. Firma Bruderer vyvinula speciální systém zaručující opakovatelně přesnou polohou v dolní úvratí i při rozdílných rychlostech. Obsluhy tohoto lisu pracují

s komfortním systémem, který významně snižuje seřizovací časy. V tab. 7 jsou uvedeny základní parametry lisu.

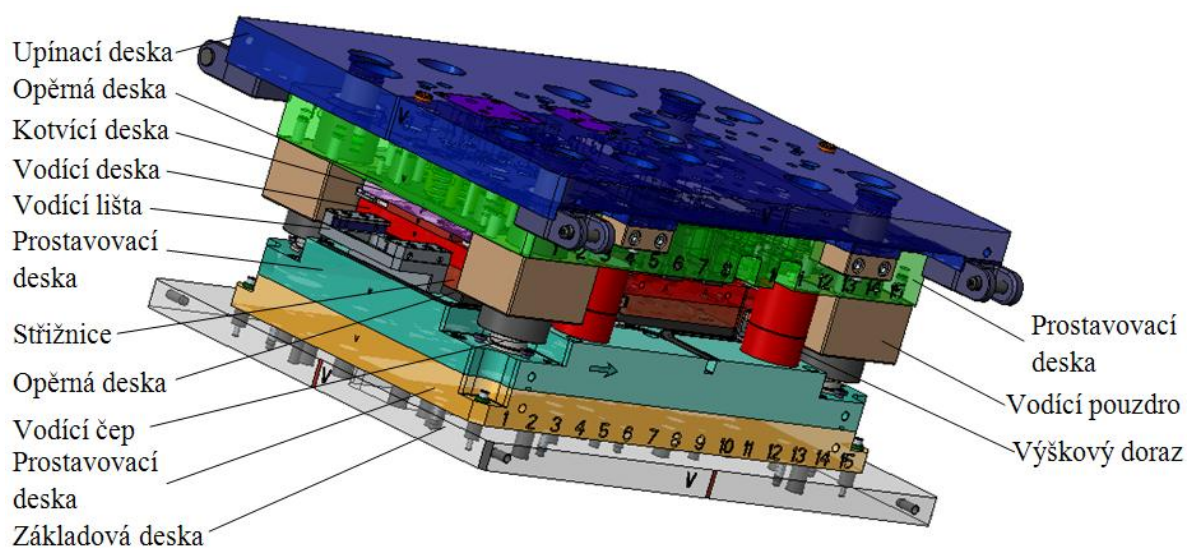
Tab. 7. Základní parametry lisu [10]

Bruderer 1250 kN		
	Jmenovitý výkon	1250 [kN]
	Max. počet zdvihů	850 [min ⁻¹]
	Min. počet zdvihů	100 [min ⁻¹]
	Max. tloušťka stříhaného plechu	2.5 [mm]
	Nastavitelný zdvih	16,19,26,35, 43,51,58,64, 70, 75 [mm]
	Výška nástroje	268- 386
	Max. šíře materiálu	260 [mm]
	Max. krok	150 [mm]
	Úhel podání	170 [°]
	Stavitelná výška podávání	80 - 180 [mm]
	Hmotnost lisu	25550[kg]
	Příkon elektromotoru	37 [KW]

Obr. 94. Lis Bruderer 1250 kN [10]

➤ Popis nástroje [60]

K vyrobení zadaného dílu byl navržen sdružený střížný nástroj (obr. 95) s kombinací následujících operací - stříh, ohyb a tváření závitů. Velký důraz se klade na dodržení rozměrových tolerancí. K minimalizování rozměrových odchylek bylo zvoleno použití nástroje s odpruženou vodící (přítlačnou) deskou. Výhodou této varianty je přidržení stříhaného a ohýbaného pásu po celé jeho ploše. Přidržovací síla bude vyvinuta 20 ks žlutými pružinami o Ø 40 x 92 mm. Vzájemné spojení vodící a prostavovací desky je provedeno 4 kusy distančních šroubů M10 x 120 mm. V nástroji jsou umístěny 3 elektronické závitovací jednotky, ovládané externím ovládacím panelem. Nástroj se dá rozdělit na tři úseky. V prvním úseku se stříhá rozvinutý tvar. V druhém úseku je provedeno tváření tří závitů. V třetím dochází k ohybu na požadovaný tvar s následným odstřížením dílu a jeho výpad na pásový dopravník, který se nachází za nástrojem. V důsledku poměrně velkého nástroje a výrobních možností v nástrojárnách byly desky (střížnice a přítlačná deska) rozděleny na tři části podle výše zmíněných úseků. Každá z těchto desek je přesně napolohována pomocí 4 kolíků o Ø 10 x 80 mm a 4 šrouby M10 x 50 mm. K zajištění přesného vedení je použito čtyř vodících sloupků Ø 63 x 309 mm, zalisovaných do základové desky a zajištěných 2 kusy šroubů M6. Vodící pouzdra obsahující kuličkové klece jsou nalisována do prostavovací desky. Dále je použito 10 kusů kluzných vedení Ø 25 mm k zajištění 100% souososti. Uchycení střížníků do kotvící desky je provedeno upínací destičkou a šroubem. Kotvení ohybníku je provedeno za pomoci pružiny, kotvícího kolíčku a destičky, která umožňuje nastavitelnou výšku ohybníku. Stříhaný pás bude během posuvu nadzvedáván o 10 mm, aby nedocházelo k zadrhávání pásu v střížnici.



Obr. 95. Model navrženého střížného nástroje

➤ **Návrh technologického postupu výroby konektoru**

Tab. 8 Technologický postup výroby konektoru

č. op.	popis operace	nástroj, pomůcky	stroj
10	vstupní kontrola	tloušťka $1,5 \pm 0,02$ mm šířka $125 \pm 0,1$ mm mez pevnosti v tahu R_m (420-550 MPa)	LABTEST SP 1-VM
20	stříhat, ohýbat, tvářit závit	sdužený nástroj postupovat dle návodky op. 20	Bruderer 1250 kN
30	kontrola dle kontrol. plánu op. 30	mikrometr, kalibry (M5; \varnothing 7,9; 6) referenční vzorek	souřadnicový stroj Werth - ScopeCheck
40	zalití plastickou hmotou	vstřikovací forma postupovat dle návodky op. 40	Arburg 520 C
50	kontrola dle kontrol. plánu op. 50	mikrometr, kalibry referenční vzorek	souřadnicový stroj Werth - ScopeCheck

6 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [60] [62] [36]

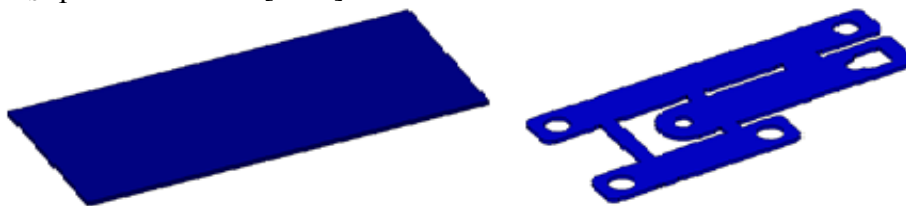
➤ Koeficient využití materiálu:

$$k_c = \frac{S_p}{S_s} = \frac{7000}{3805,93} = 1,84 \quad (5.1)$$

kde:

S_p - plocha materiálu připadající na jeden krok [mm^2]

S_s - plocha součásti [mm^2]



Obr. 96. Výpočet spotřeby materiálu

➤ Náklady na materiál

Jako výchozí polotovár byl zvolen svitek plechu, jehož velikost a hmotnost byla stanovena v kapitole 5.3.

➤ Hmotnost svitku:

$$m_{sv} = \frac{\pi \cdot (D_{sv}^2 - d_{sv}^2)}{4} \cdot B_{sv} \cdot \rho = \frac{3,14 \cdot (900^2 - 500^2)}{4} \cdot 125 \cdot 8,8 = 483,56 \text{ kg} \quad (3.8.)$$

➤ Počet výstřížků z jednoho svitku:

$$n_{ks} = \frac{m_{sv}}{m_{krok}} = \frac{483,56}{0,0924} = 5233 \text{ ks} \quad (3.9.)$$

Z jednoho dodaného svitku plechu se vyrobí 5233 ks.

➤ Celkový počet svitků:

$$n_s = \frac{Q}{n_{ks}} = \frac{1\,600\,000}{5233} = 306 \text{ ks}_{\text{svitků}} \quad (3.10.)$$

Pro výrobu roční produkce 1 600 000 ks konektorů bude potřeba 306 ks svitků.

➤ Celková hmotnost svitků:

$$m_{cs} = 483,56 \cdot 306 \cong 147970 [\text{kg}] \quad (3.11.)$$

Na výrobu 1.6 mil. kusů bude zapotřebí 147970 kg.

➤ Náklady na nákup svitků:

Cena za 1 kg materiálu CuSn6 byla stanovena na 225,5 Kč/kg.

$$N_M = 147970 \cdot 225,5 = 33\,367\,091 [\text{Kč}] \quad (3.12.)$$

➤ Hmotnost jedné součásti:

$$m_{sou} = 3803,85 \cdot 1,5 \cdot 8,8 = 0,050 [\text{kg}] \quad (3.13.)$$

➤ Celková hmotnost součástí:

$$m_{csou} = 0,0502 \cdot 1600000 = 80337,31 [\text{kg}] \quad (3.14.)$$

➤ Celková hmotnost odpadu:

$$m_{co} = 147970 - 80337,31 = 67632,05 [\text{kg}] \quad (3.15.)$$

➤ Zhodnocení odpadu:

Cena zhodnocení odpadového materiálu je stanovena 115 Kč/kg.

$$z_0 = 67632,048 \cdot 115 \cong 7\,777\,685,5 [\text{Kč}] \quad (3.16.)$$

➤ **Celkové náklady na materiál:**

$$N_{CM} = 33367090,68 - 7777685,52 = 25\,589\,405 [\text{Kč}] \quad (3.17.)$$

➤ **Náklady na materiál jednotné součásti:**

$$N_{M1} = \frac{25589405}{1600\,000} = 15,99 \approx 16 [\text{Kč/ks}] \quad (3.18.)$$

➤ **Náklady na mzdy**

Pro výpočet nákladů na mzdy zaměstnanců byla zvažována pracovní doba trvající 7.5 hod. Tato doba se skládá z:

$t_P = 1,5$ hod – přípravný čas

$t_V = 5,5$ hod – výrobní čas

$t_K = 0,5$ hod – čas na kontrolu součásti

➤ **Počet vyrobených součástí za hodinu:**

Výrobní rychlost pro zadanou součást byla stanovena $n_z = 150 \text{ min}^{-1}$

$$n_{SH} = 150 \cdot 60 = 9000 [\text{ks/hod}] \quad (3.19.)$$

➤ **Počet vyrobených součástí za směnu:**

$$n_{SS} = 9000 \cdot 5,5 = 49\,500 [\text{ks/směnu}] \quad (3.20.)$$

➤ **Počet směn:**

$$n_{SM} = \frac{1600\,000}{49500} = 32,32 \Rightarrow \approx 33 \text{ směn} \quad (3.21.)$$

➤ **Počet hodin potřebných na výrobu:**

$$n_H = 33 \cdot (1,5 + 5,5 + 0,5) = 247,5 [\text{hod}] \quad (3.22.)$$

➤ **Přímé náklady na mzdy:**

Hodinová mzda výrobních dělníků za odpracovaný čas byla stanovena na 130 Kč/hod.

$$N_{PMZ} = n_H \cdot w = 247,5 \cdot 90 = 22\,275 \text{ Kč} \quad (3.23.)$$

➤ **Ostatní přímé náklady na mzdy:**

Do ostatních přímých nákladů jsou započteny odvody zdravotního a sociálního pojištění, které hradí zaměstnavatel. V České republice je stanovena výše odvodů zaměstnavatele na sociální pojištění 25 % a na zdravotní pojištění 9 %.

$$K_P = 0,09 + 0,25 = 0,34 \quad (3.24.)$$

$$N_{OPMZ} = K_P \cdot N_{PMZ} = 0,34 \cdot 22275 = 7573,5 \text{ Kč} \quad (3.25.)$$

➤ **Celkové přímé náklady na mzdy:**

$$N_{CPMZ} = N_{PMZ} + N_{OPMZ} = 22275 + 7573,5 = 29848,5 \text{ Kč} \quad (3.26.)$$

➤ **Náklady na spotřebovanou energii**

Příkon lisu: $P_L = 37 \text{ kW}$

Příkon ostatních přídavných zařízení $P_{PZ} = 2,5 \text{ kW}$

➤ **Celkový příkon strojů:**

$$P_C = P_L + P_{PZ} = 37 + 2,5 = 39,5 \text{ kW} \quad (3.27.)$$

Náklady na spotřebovanou energii:

Cena elektrické energie je různá dle velikosti odebíraného energie. Zvolili jsme $C_{EL} = 3,2 \text{ Kč/kWh}$

$$N_{EL} = P_C \cdot n_H \cdot C_{EL} = 39,5 \cdot 247,5 \cdot 3,2 = 31\,284 \text{ Kč}$$

➤ **Režijní náklady**

Mezi režijní náklady, nazývané také nepřímými náklady, které jsou společné pro celou výrobu dílů, patří například mzdy režijních pracovníků, mzdy administrativního aparátu a odpisy dlouhodobého majetku společnosti.

Výše režijních nákladů zadané součásti byla stanovena:

- výrobní režie 150% $\Rightarrow V_R=1,5$

- správní režie 80% $\Rightarrow S_R=0,8$

$$N_R = (V_R + S_R) \cdot N_{CPMZ} = (1,5 + 0,8) \cdot 29848,5 = 68651,6 \text{ Kč}$$

➤ **Celkové náklady na mzdy**

$$N_{CMZ} = N_{CPMZ} + N_R = 168651,6 + 29848,5 = 98500 \text{ Kč}$$

➤ **Náklady na nástroj**

Tyto náklady na výrobu střížného nástroje jsou určeny v porovnání s předchozí výrobou nástrojů a s přihlédnutím k podobnosti nákladů, které určená nástrojárna již vyráběla. K tomuto kvalifikovanému odhadu ceny se přidává 15 % hodnoty navíc. Důvodem procentuální přírážky je předpokládaná změna ceny materiálu, ze kterého se bude nástroj vyrábět a předpokládaná komplikovanost v průběhu odladění a seřízení složitosti nástroje.

$$N_N = 850000 \text{ Kč.}$$

➤ **Cena součásti**

Celková vypočítaná výsledná hodnota součásti bude procentuálně navýšena o stanovený zisk firmy. Tím bude určena cena součásti.

➤ **Náklady na výrobu jedné součásti:**

$$N_V = \frac{N_{CMZ} + N_N}{Q} + N_{M1} = \frac{98500 + 850000}{1600000} + 16 = 16,59 \approx 16,6 \text{ Kč}$$

➤ **Celková cena jedné součásti:**

Počítáno se ziskem na jedné součásti 40% $K_z=1,4$

$$C_C = N_V \cdot K_z = 16,6 \cdot 1,4 = 21,56 \approx 21,6 \text{ Kč/ks} \quad (3.32.)$$

➤ **Fixní náklady**

Fixní náklady (FC, z angl. Fixed Cost) jsou takové náklady, které se se změnou objemu výroby nemění. Firma je tedy musí vynakládat při každém (tedy i nulovém) objemu výroby. Nedají se zpravidla měnit v krátkém časovém období. Příkladem těchto fixních nákladů (FC) je osvětlení nebo vytápění budov.

$$FN = N_N + N_{CMZ} - N_{CPMZ} = 850\,000 + 98\,500 - 29\,848,5 = 918\,651,55 \text{ Kč}$$

➤ **Variabilní náklady:**

Další složkou celkových nákladů jsou náklady variabilní (VC z angl. Variable Cost). Variabilní náklady jsou závislé na objemu produkce. Mění se se změnou objemu výroby. Mezi variabilní náklady patří přímý materiál, přímé mzdy - úkolová mzda, příplatky za práci přes čas a mzdy na energii bezprostředně vynaloženou na zhotovení výroby. Mohou být lineární nebo nelineární.

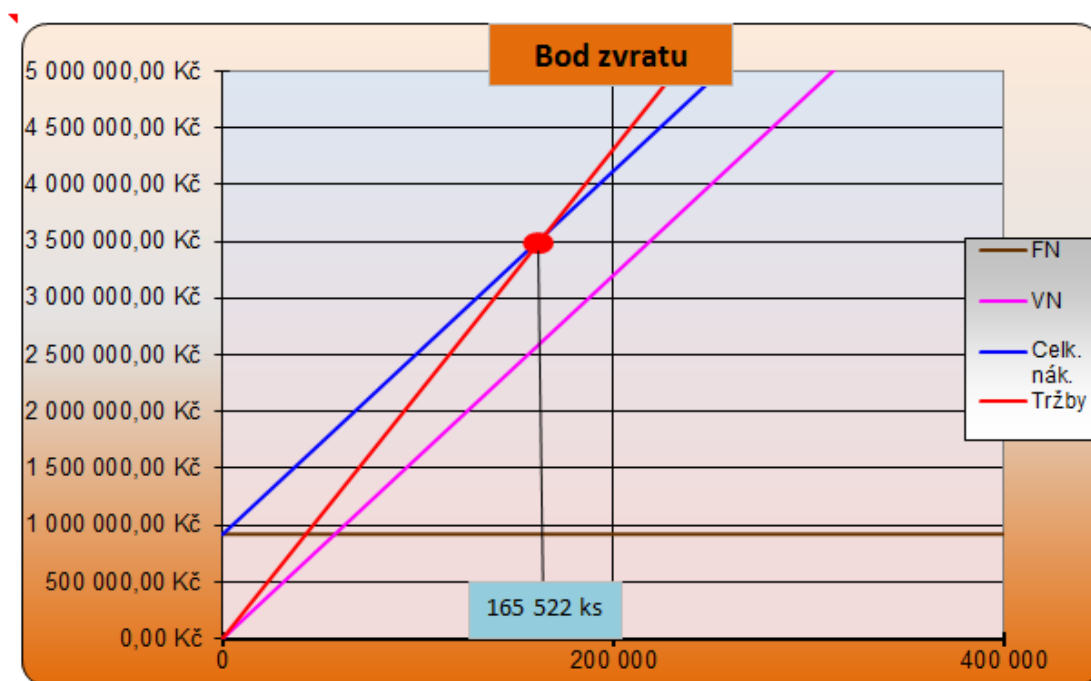
$$VN = N_{M1} + \frac{N_{CPMZ}}{Q} = 15,99 + \frac{29848,5}{1\,600\,000} = 16,01 \text{ Kč/ks} \quad (3.34.)$$

➤ **Bod zvratu [29]**

Bodem zvratu se rozumí takový moment výroby, který se rovná průměrným nákladům sečtených fixních nákladů a variabilních nákladů na jednotku produkce s cenou výrobku na jednotku produkce. V momentě dosažení bodu zvratu nevznikají ztráty, vzniká zisk.

$$Z = \frac{FN}{C_c - VN} = \frac{918652}{21,56 - 16,01} = 165\,523 \text{ ks} \quad (3.35.)$$

Po vyrobení 1103530,8 ks nastává bod zvratu „Z“. Při výrobě tohoto množství je zaručen zisk. Roční produkce je stanovena na 1 600 000 ks. Z hlediska hypotézy kalkulovaných hodnot vychází, že daná technologie je ekonomicky rentabilní. Na obr. 97 jsou znázorněny fixní náklady, celkové náklady a celkové tržby. Průsečík přímek stanovuje bod zvratu „Z“.



Obr. 97. Bod zvratu „Z“

7 ZÁVĚRY

Vyráběnou součástí je automobilový konektor typu vodivých drah nazývaný „Stanzgitter“, který má v automobilu sloužit k vedení elektrického napětí mezi vyhodnocovacími jednotkami systému airbag. Tvar zadané součásti je tvořen třemi vodivými drahami, které jsou navzájem propojeny tzv. spojovacími můstkami, z nichž dva konektorové vývody jsou ohnuty do 90°. Na každé z vodivých drah se nachází jeden závitový otvor o velikosti M5. Po splnění pevnostních podmínek bylo rozhodnuto, že závit bude vyroben poměrně novou technologií tváření závitů v postupovém střížném nástroji. Konektory budou vyráběny z bronzového plechu CuSn6 o tloušťce $1,5 \pm 0,01$ mm a šířce $125 \pm 0,1$ mm. Předpokládaná roční produkce je 1 600 000 ks. Jelikož zadaná součást se nachází v bezpečnostním systému airbag, tak jsou na ni kladeny vysoké přesnostní a jakostní požadavky. Výroba dílu bude realizována v postupovém sdruženém nástroji kombinací stříhu, ohybu a tváření závitů.

K dodržení předepsaných výrobních tolerancí byl navržen nástroj s odpruženou přítlačnou deskou, kterou se docílí co nejoptimálnějšího přidržení materiálu během stříhu a ohybu. Dále byla k zajištění optimální souososti zvolena kombinace valivého a kluzného vedení. Horní i spodní část nástroje bude uchycena k lisu šrouby M12. Polotovarem byl zvolený svitek bronzového plechu, který bude umístěn na paletový odvíječ s rovnacím zařízením, ze kterého je zaveden do automatického pásového podavače lisu. Přesné ustanovení pásu bude provedeno průchozími hledáčky a k ochraně bezpečnosti nástroje bude vyhodnocována poloha přítlačné desky bezkontaktními čidly. Z vypočítané celkové střížné síly byl zvolen k výrobě zadané součásti jako nejvhodnější lis Bruderer 1250 kN od stejnojmenné švýcarské firmy.

V ekonomické části jsou provedeny výpočty pro stanovení nákladů na výrobu jednoho dílce, jejichž částka činí 21,6 Kč. Po vyrobení 160 522 ks nastává bod zvrátu. Na dílcích vyrobených po tomto množství bude produkován zisk, na základě kterého lze potvrdit vhodnost vybrané technologie.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Agathon: normalie. [online]. [cit. 2014-01-30]. Dostupné z: <http://www.agathon.ch/de/start.asp>
2. ArcelorMittal Frýdek-Místek a.s., závod Válcovna za studena. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.valcovna-nh.cz/>
3. Automationdirect. [online]. [cit. 2014-01-30]. Dostupné z: <http://www.automationdirect.com>
4. Automationdirect: sensors. [online]. [cit. 2014-02-09]. Dostupné z: <http://www.automationdirect.com/>
5. AW PRECISION. [online]. [cit. 2014-02-03]. Dostupné z: <http://www.penta-edm.cz/>
6. Baercoil: Thread Forming. [online]. [cit. 2014-02-09]. Dostupné z: <http://www.baercoil.com/de/startseite.html>
7. BAREŠ, Karel. *Lisování: Určeno [také] stud. na stř. a vys. odb. školách*. Praha: SNTL, 1971, 542 s.
8. BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. Vyd. 1. Praha: SNTL
9. BROSZ, Ulrich. *Prozesskette Hochleistungsstanzen*. Germany, 2005.
10. Bruderer. [online]. [cit. 2014-01-30]. Dostupné z: <http://www.bruderer.com>
11. Dayton: normalien. [online]. [cit. 2014-01-30]. Dostupné z: <http://www.daytonprogress.de>
12. Diapress. [online]. [cit. 2014-01-30]. Dostupné z: www.diatom.dk
13. DOBROVOLNÝ, Bohumil. *Pokrokové konstrukce lisovacích nástrojů*. Praha, 1959.
14. Dormer: Forming Taps. [online]. [cit. 2014-01-30]. Dostupné z: <http://www.dormertools.com>
15. Dormer: Tvářecí závitníky. [online]. [cit. 2014-02-10]. Dostupné z: <http://www.mav.cz/dormer.php>
16. DVOŘÁK, Milan a František GAJDOŠ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno: VUT Brno, 1999, 169 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-1481-2.
17. DVOŘÁK, Milan a Michaela MAREČKOVÁ. *Technologie tváření*. [online]. 2006 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/index.htm
18. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. 3. dopl. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 238 s. ISBN 80-214-2683-7.
19. *Elektronika v moderním automobilu: Vysoké učení technické v Brně*. Dostupné z: <http://www.fme.vutbr.cz/>

20. Emkaytools: THREAD FORMING. [online]. [cit. 2014-02-09]. Dostupné z: http://www.emkaytools.com/threads_forming_tap.html
21. Fibro: normalien. [online]. [cit. 2014-01-30]. Dostupné z: <http://www.fibro.de/de/startseite.html>
22. FOREJT, Milan. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
23. Guethle. [online]. [cit. 2014-01-30]. Dostupné z: <http://www.guethle-swt.de/>
24. Guhring: Thread Forming. [online]. [cit. 2014-02-09]. Dostupné z: <http://www.guhring.com/ELearning/VideoPlayer/?id=062>
25. GUIDI, A. *Přistřihování a přesné střihání*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1969, 138 s.
26. IEM: danly. [online]. [cit. 2014-01-30]. Dostupné z: <http://www.danly.com/>
27. Intercom. [online]. [cit. 2014-01-30]. Dostupné z: <http://www.intercomonline.it>
28. Javy spol.: podávací vibrační technika. [online]. [cit. 2014-02-09]. Dostupné z: <http://www.javy.cz/>
29. Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví: členění nákladů, analýza bodu zvratu: Náklady podniků. [online]. Praha, 2008 [cit. 2012-04-23].
30. Katedra tváření kovů a plastů Liberec. [online]. Liberec [cit. 2012-04-24]. Dostupné z: • http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm
31. KEMPER. [online]. [cit. 2012-04-24]. Dostupné z: http://www.kemper-armatury.cz/cusn6-cz-11_47_74_83.html
32. Kemper. [online]. [cit. 2014-02-03]. Dostupné z: <http://www.kemper-olpe.de/>
33. Kit-invest. [online]. [cit. 2014-01-30]. Dostupné z: <http://www.kit-invest.cz/>
34. KOLLÁR, Pavel. *MOŽNOSTI ELEKTRICKÉHO PROPOJENÍ SOUČÁSTEK V AUTOMOBILOVÝCH ZÁMCÍCH*. Brno, 2011. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studium/zaverecne-prace>. Diplomová práce. VUT Brno. Vedoucí práce Ing. LADISLAV ŽÁK, Ph.D.
35. KOTOUČ, Jiří. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Praha: ČVUT Praha, 1993, 349 s. ISBN 80-010-1003-1.
36. KRUTINA, Václav a Martina NOVOTNÁ. *Ekonomika podniku: (cvičení)*. 1. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, 2004. ISBN 80-704-0732-8.
37. Mcsshop: centerdrill. [online]. [cit. 2014-02-09]. Dostupné z: http://www.mcsshop.com/Pages/centerdrill_threadformer.aspx
38. Mcsshop: THREAD FORMING. [online]. [cit. 2014-02-09]. Dostupné z: http://www.mcsshop.com/Pages/centerdrill_threadformer.aspx
39. Metalformingmagazine. [online]. [cit. 2014-01-30]. Dostupné z: 5[http www metalformingmagazine.com](http://www.metalformingmagazine.com)

40. Metalformingmagazine. [online]. [cit. 2014-02-09]. Dostupné z: <http://www.metalformingmagazine.com>
41. Misumi Europe: kataloge. [online]. [cit. 2014-02-09]. Dostupné z: <http://www.misumi-europe.com/>
42. MM Průmyslové. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>
43. NOVÁK, Miroslav. Základní princip laseru a jejich dělení. [online]. 2011 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/serial-princip-a-typy-laseru.htm>
44. NOVOTNÝ, Josef. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: SNTL, 1983, 213 s.
45. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
46. OTTO vision: Jena. [online]. [cit. 2014-01-30]. Dostupné z: http://www.otto-jena.de/about_us.html
47. Plazmové svařování. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/2-01-15.pdf>
48. Pronic. [online]. [cit. 2014-01-30]. Dostupné z: <http://www.pronic.com/>
49. Quantum. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: www.meb-press.com
50. Quantum. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: www.meb-press.com
51. Renar. [online]. [cit. 2014-01-30]. Dostupné z: <http://www.renar.sk/>
52. Rifast. [online]. [cit. 2014-01-30]. Dostupné z: <http://www.rifastllc.com/in-die/>
53. ROMANOVSKIJ, V. *Příručka pro lisování za studena*. Praha: SNTL, 1959, 537 s.
54. Řezání vodním paprskem. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%98ez%C3%A1n%C3%AD_vodn%C3%ADm_paprskem
55. Schulergroup. [online]. [cit. 2014-01-30]. Dostupné z: <http://www.schulergroup.com/>
56. Steinel Normalien. [online]. [cit. 2014-01-30]. Dostupné z: <http://steinel-normalien-ag.partcommunity.com/>
57. STS-systec. [online]. [cit. 2014-01-30]. Dostupné z: <http://www.sts-systec.de>
58. SUCHY, Ivana. *Handbook of die design*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, c2006, xiii, 729 p. ISBN 00-714-6271-6.
59. Vester: Elektronik. [online]. [cit. 2014-01-30]. Dostupné z: <http://www.vester.de>
60. *Výroba konektoru* [online]. Brno, 2011/2012 [cit. 2013-12-09]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studium/zaverecne-prace?action>.

61. Výroba vnitřních závitů tvářením: MM Průmyslové spektrum. [online]. [cit. 2014-02-10]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vyroba-vnitrnich-zavitu-tvarenim.html>
62. Wieland-Werke AG Werk Ulm. [online]. [cit. 2014-01-30]. Dostupné z: <http://www.wieland.com>
63. Youtube: Thread Forming. [online]. [cit. 2014-02-09]. Dostupné z: <http://www.youtube.com/watch?v=livQoEZYs4>
64. Danly: Razníky a Matrice. [online]. [cit. 2014-02-22]. Dostupné z: http://www.danly.cz/Razn%EDky_CZ.pdf

SEZNAM SYMBOL_ A ZKRATEK

Symbol	Popis	Jednotka
A	střížná práce	[J]
A	80 tažnost	[%]
A	co celková ohýbací práce	[J]
A _{OU}	práce síly při ohybu do „U“	[J]
A _{OV}	práce síly při ohybu do „V“	[J]
A _{OZ}	práce při zakružování	[J]
B	šířka pruhu nebo pásu	[mm]
B _p	šířka tabule plechu	[mm]
B _{SV}	šířka svitku	[mm]
b	šířka přepážky	[mm]
b ₀	šířka ohýbané součásti	[mm]
C _C	celková cena součásti	[K_]
C _{EL}	cena elektrické energie	[K_/kWh]
C _M	cena materiálu	[K_]
C _{ZO}	cena zhodnocení odpadového materiálu	[K_/kg]
c	šířka okraje stříhaného bočním nožem	[mm]
D	jmenovitý rozměr výstřížku	[mm]
D _S	jmenovitý rozměr střížnice při vystřihování	[mm]
D _{sd}	jmenovitý rozměr střížnice při děrování	[mm]
D _{SV}	velký průměr svitku	[mm]
d	jmenovitý rozměr děrovaného otvoru	[mm]
d _k	jmenovitý rozměr střížníku při vystřihování	[mm]
d _{kd}	jmenovitý rozměr střížníku při děrování	[mm]
d _{s2}	průměr osazení u střížníku průměru 5 mm	[mm]
d _{SV}	malý průměr svitku	[mm]
d _z	vnější průměr zakružované části	[mm]
E	modul pružnosti $E = 2,01 \cdot 10^5$	[MPa]
F _{KR}	střížná síla u kruhového střížníku	[N]
F _N	fixní náklady	[K_]
F _{OB1}	střížná síla u obdélníkového střížníku šířky 30 mm	[N]
F _{OB2}	střížná síla u obdélníkového střížníku šířky 3,7 mm	[N]
F _{OB3}	střížná síla u střížníku přepážky šířky 3,7 mm	[N]
F _{OU}	síla při ohybu do „U“	[N]
F _{OV}	síla při ohybu do „V“	[N]
F _P	síla přidržovače	[N]
F _S	střížná síla	[N]
F _{Smax}	maximální střížná síla	[N]
f	součinitel tření	[-]
h	pracovní zdvih	[mm]
h _{e1}	hloubka elastického vniknutí střížníku	[mm]
h _{pl}	hloubka plastického vniknutí střížníku	[mm]
h _s	hloubka vniknutí střížných hran	[mm]
h _v	výška výstřížku	[mm]
I	kvadratický moment	[mm ⁴]
K _P	procentuální vyjádření výše pojistného	[-]

K _Z	procentuální vyjádření zisku	[-]
k	velikost kroku	[mm]
k ₁	součinitel určující polohu neutrální plochy v závislosti na R ₀ /t	[-]
k _c	celkový součinitel využití materiálu	[-]
k _s	střížný odpor	[MPa]
k _s	počet kusů	[-]
L	délka křivky stříhu	[mm]
L _C	celková délka výchozího polotovaru	[mm]
L _p	délka pruhu nebo pásu včetně koncových odpadů	[mm]
L _P	délka tabule plechu	[mm]
L _{SV}	délka pásu ve svitku	[mm]
l	šířka ohybnice	[mm]
l ₀	délka ohnutého úseku v neutrální ploše	[mm]
l ₁	rozvinutá délka ohybu „l“	[mm]
l _{krit}	kritická délka střížníku	[mm]
l _p	délka pásu	[mm]
l _u	vzdálenost mezi opěrami ohybnice při ohybu do „U“	[mm]
l _v	délka výstřížku	[mm]
l _v	vzdálenost mezi opěrami ohybnice při ohybu do „V“	[mm]
m	koeficient zaplnění grafu	[-]
m _{CO}	celková hmotnost odpadu	[kg]
m _{CS}	celková hmotnost svitků	[kg]
m _{CSOU}	celková hmotnost součástí	[kg]
m _s	střížná mezera	[mm]
m _{SOU}	hmotnost součástí	[kg]
m _{SV}	hmotnost svitku	[kg]
N _{CM}	celkové náklady na materiál	[K ₋]
N _{CPMZ}	celkové přímé mzdy	[K ₋]
N _{EL}	náklady na spotřebovanou elektrickou energii	[K ₋]
N _M	náklady na nákup svitků	[K ₋]
N _{M1}	náklady na materiál jedné součásti	[K ₋ /k _s]
N _N	náklady na nástroj	[K ₋]
N _{OPMZ}	ostatní přímé náklady	[K ₋]
NP	neutrální plocha	[mm ²]
N _{PMZ}	přímé náklady na mzdy	[K ₋]
N _{V1}	náklady na výrobu jedné součásti	[K ₋ /k _s]
n	zvyšující koeficient, zahrnující vliv vnějších podmínek při stříhání	[-]
n _b	součinitel bezpečnosti	[-]
n _H	počet hodin potřebných na výrobu	[-]
n _p	počet pruhů z tabule plechu	[-]
n _s	počet svitků	[-]
n _{SH}	počet součástí vyrobených za hodinu	[k _s /hod]
n _{sm}	počet směn	[-]
n _{SS}	počet součástí vyrobených za směnu	[k _s /směn]
n _{SV}	počet výstřížků ze svitku	[-]
n _{SOU}	počet součástí	[-]
n _V	počet výstřížků z jednoho pruhu plechu	[-]

n_{vc}	počet výstřížků z tabule plechu	[-]
n_Z	počet zdvihů za minutu	[min ⁻¹]
P_C	celkový příkon strojů	[kW]
P_k	výrobní tolerance střížníku	[mm]
P_L	příkon lisu	[kW]
P_{PZ}	příkon všech přídavných zařízení	[kW]
P_s	výrobní tolerance střížnice	[mm]
P_u	dovolená úchylka výrobku	[mm]
Q	počet vyráběných kusů	[-]
Re	mez kluzu	[MPa]
R_m	mez pevnosti	[MPa]
R_{max}	maximální poloměr ohybu	[mm]
R_{min}	minimální poloměr ohybu	[mm]
R_o	poloměr zaoblení ohybníku	[mm]
R_O	poloměr ohybu	[mm]
R_m	poloměr zaoblení ohybnice	[mm]
S	plocha střížníku	[mm ²]
S_d	jmenovitá dosedací plocha	[mm ²]
S_R	procentuální vyjádření správných režijních nákladů	[-]
S_s	plocha součásti bez otvorů	[mm ²]
S_{SOU}	obsah součásti	[mm ²]
t	tloušťka plechu	[mm]
t_k	kontrolní čas	[hod]
t_{max}	největší tloušťka plechu	[mm]
t_p	přípravný čas	[hod]
t_v	výrobní čas	[hod]
V_N	variabilní náklady	[K __]
V_R	procentuální vyjádření výrobních režijních nákladů	[-]
v	střížná vůle	[mm]
v_{min}	minimální střížná vůle	[mm]
w	hodinová sazba	[K __ /hod]
x	velikost posunutí neutrální osy od původního průřezu	[mm]
z	střížná mezera	[mm]
z_O	zhodnocení odpadu	[K __]
α	úhel ohybu	[°]
β	úhel odpružení	[°]
δ	úhel ohnutého úseku	[°]
$_{tmax}$	trvalá poměrná deformace	[-]
$_{tmin}$	kritická poměrná deformace	[-]
	součinitel plnosti diagramu	[-]
μ	součinitel bezpečnosti	[-]
r	poloměr neutrální plochy	[mm]
r_1	poloměr ohybu	[mm]
ρ_{OCEL}	hustota oceli	[kg/m ³]
σ_{dov}	dovolené napětí v tahu	[MPa]
σ_O	napětí v ohybu	[MPa]

σ napětí ve střihu [MPa]

ν úhel zkosení střížníku [°]

SEZNAM VÝKRESŮ

5M/64 - 2014 Výrobní výkres konektoru

5M/64 - 00 Výkres sestavení nástroje

5M/64 - 09 Výkres střížnice

5M/64 - 024 Výkres střížníku

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 3D model sdruženého postupového nástroje

Příloha 2 3D model horní části nástroje

Příloha 3 3D model spodní části nástroje

Příloha 1

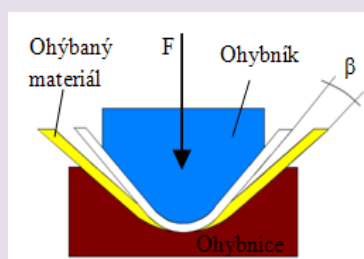
Tab. 1. Materiály pro střížné nástroje [60] [7]

Část nástroje	Ocel	Ocel pro větší nároky
základové desky	11 500, 11 370, 11 340, 11 375	
upínací desky	11 500, 11 370	
vodící desky	11 500, 11 600	
vodící sloupky a pouzdra	14 220, 14 160, 19 221	
upínací stopky	11 600	
hledáčky	19 421, 19 312, 14 220	
dorazy	11 500, 12 061, 19 312	
vodící lišty	11 600	
opěrné desky	11 500, 11 600, 11 700	12 050, 19 083
přidržovací desky	11 500, 11 600	19 191, 19 221, 19 312
střížníky	19 191, 19 221	19 312, 19 431, 19 436
střížnice	19 191, 19 356	19 312, 19 436, 19 830
ohybníky, ohybnice	19 191, 19 221	19 312, 19 436, 19 437

Příloha 2

Tab. 2. Velikost odpružení [60] [8]
















Materiál		R/t	
		0,8 ÷ 2	>2
Ocel δ_{pt} pevnost [MPa]	do 320	1°	3°
	320 až 400	3°	5°
	nad 400	5°	7°
Mosaz měkká		1°	3°
Mosaz tvrdá		3°	5°
Hliník		1°	3°








Obr. 99. Schéma odpružení β [60]

Příloha 3

Tab. 3. Výpočet sřížných sil a polohy těžiště nástroje část 1

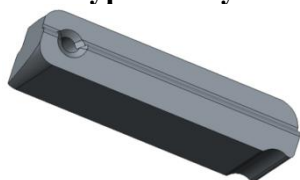
střížník	n[1-1,3]	L [mm]	t [mm]	τ_s [mm]	F_s [N]	x [mm]	y [mm]	$F_i \cdot x_i$	$F_i \cdot y_i$
	1	19,154	1,5	440	12641,64	19	-41,3	240191,16	-522099,732
	1	19,154	1,5	440	12641,64	41	29	518307,24	366607,56
	1	7,853	1,5	440	5182,98	56,5	-49,05	292838,37	-254225,169
	1	7,853	1,5	440	5182,98	93,5	-49,05	484608,63	-254225,169
	1	7,853	1,5	440	5182,98	56,5	51,25	292838,37	265627,725
	1	124,158	1,5	440	81944,28	187	-24,35	15323580,36	-1995343,218
	1	226,175	1,5	440	149275,5	205,13	48,92	30620883,32	7302557,46
	1	102,512	1,5	440	67657,92	215	-56,63	14546452,8	-3831468,01
	1	63,2918	1,5	440	41772,588	233	10,63	9733013,004	444042,6104
	1	133,048	1,5	440	87811,68	270,24	-1,37	23730228,4	-120302,0016
	1	121,172	1,5	440	79973,52	299,32	-52,82	23937674,01	-4224201,326
	1	115,256	1,5	440	76068,96	291,35	62,52	22162691,5	4755831,379
	1	41,1657	1,5	440	27169,362	299,07	48,18	8125541,093	1309019,861
	1	26,4039	1,5	440	17426,574	775	-35,27	13505594,85	-614635,265
	1	75,7614	1,5	440	50002,524	770,06	26,93	38504943,63	1346567,971
Celková sřížná síla $F_{s\text{ celk}}$ [N] (F_1+F_2,\dots,F_{11})					719935,13	Celkem		202019386,7	3973754,677

Tab. 4. Výpočet ohýbacích a lemovacích sil a polohy těžiště nástroje část 2

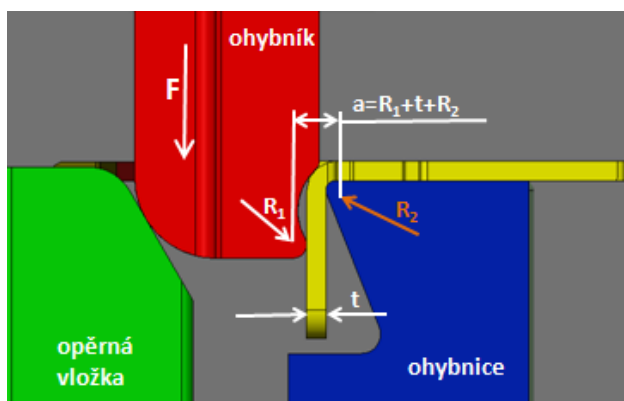
ohybník	b - šířka [mm]	t [mm]	Rm [MPa]	F _o [N]	x [mm]	y [mm]	F _i ·x _i	F _i ·y _i
	14	1,5	550	1776,9231	709,61	-45,8	1260922,385	-81383,07692
	14	1,5	550	1776,9231	723,77	-45,8	1286083,615	-81383,07692
	14,82	1,5	550	1386	112,5	-49,05	155925	-67983,3
	14,82	1,5	550	1386	149,5	-49,05	207207	-67983,3
	14,82	1,5	550	1386	112,5	51,25	155925	71032,5
Celková ohybová síla F _o [N]				7711,8462			3066063	-227700,2538

Příloha 4

➤ Výpočet ohýbací síly



Obr. 100. Ohnutí konektoru

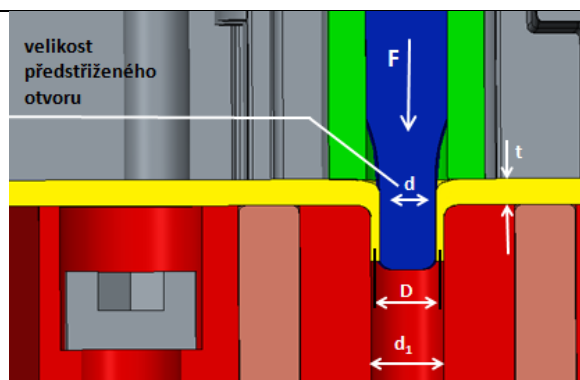


$$F_{OH} = \frac{c \cdot R_m \cdot b \cdot t^2}{a} = \frac{0,4 \cdot 550 \cdot (2 \cdot 14) \cdot 1,5^2}{(1 + 1,5 + 1,4)} = 3553,84 \text{ N}$$

➤ Výpočet lemovací síly







Obr. 101. Lemování otvoru



$$F_{lem.} = 0,7 \cdot t \cdot (d_1 - d) \cdot R_m = 0,7 \cdot 1,5 \cdot (4,9 - 2,5) \cdot 550 = 1386 \text{ N}$$

Příloha 5

Tab. 5. Výpočet celkové síly pružin

druh pružiny	Ø [mm]	L [mm]	ks	F ₂ [N]	celková F [N]	BARVA
	40	92	20	6405	128100	ŽLUTÁ
	20	51	15	958	14370	ČERVENÁ
	10	17	26	88	2288	ZELENÁ KRÁTKÁ
	12	73	1	188	188	ZELENÁ
celkem [N]					144946	[N]

Příloha 5

Tab. 6. Výpočet těžiště síly

Žlutá pružina ø 40 / L 92				
x [mm]	y [mm]	F [N]	F · x	F · y
28	4	6405	179340	25620
95,77	4	6405	613406,9	25620
154	0	6405	986370	0
126	120	6405	807030	768600
126	-120	6405	807030	-768600
178	120	6405	1140090	768600
178	-120	6405	1140090	-768600
230	120	6405	1473150	768600
230	-120	6405	1473150	-768600
333	45	6405	2132865	288225
333	-45	6405	2132865	-288225
390	48	6405	2497950	307440
390	-48	6405	2497950	-307440
600	60	6405	3843000	384300
600	-60	6405	3843000	-384300
662	100	6405	4240110	640500
662	-100	6405	4240110	-640500
745	13	6405	4771725	83265
782	100	6405	5008710	640500
782	-100	6405	5008710	-640500
celkem		128100	48836652	134505
Σ F · x/ΣF	poloha v x	381,24		
Σ F · y/ΣF	poloha v y	1,05		

Červená pružina ø 20 / L 51				
x [mm]	y [mm]	F [N]	F · x	F · y
18	39,35	958	17244	37697,3
41	-33,65	958	39278	-32236,7
93	-0,65	958	89094	-622,7
131	-41,95	958	125498	-40188,1
153	28,35	958	146574	27159,3
243	-41,95	958	232794	-40188,1
321	28,35	958	307518	27159,3
342	-27,65	958	327636	-26488,7
377	28,35	958	361166	27159,3
433	28,35	958	414814	27159,3
495	-27,65	958	474210	-26488,7
545	28,35	958	522110	27159,3
601	28,35	958	575758	27159,3
647	-27,65	958	619826	-26488,7
657	28,35	958	629406	27159,3
713	28,35	958	683054	27159,3
772	57,8	188	145136	10866,4
celkem		15516	5711116	73136,4
Σ F · x/ΣF	poloha v x	368,08		
Σ F · y/ΣF	poloha v y	4,7136		

Zelená pružina ø 10 / L 17				
x [mm]	y [mm]	F [N]	F · x	F · y
74,8	30,3	88	6582,4	2666,4
74,8	52,3	88	6582,4	4602,4
86	-29	88	7568	-2552
108	-29	88	9504	-2552
142	-29	88	12496	-2552
164	-29	88	14432	-2552
131	30,3	88	11528	2666,4
131	52,3	88	11528	4602,4
232	41,3	88	20416	3634,4
254	41,3	88	22352	3634,4
316,42	-19	88	27845	-1672
330,22	-35	88	29059	-3080
372,42	-19	88	32773	-1672
386,22	-35	88	33987	-3080
428,42	-19	88	37701	-1672
442,22	-35	88	38915	-3080
495	31	88	43560	2728
540,42	-19	88	47557	-1672
554,22	-35	88	48771	-3080
596,42	-19	88	52485	-1672
610,22	-35	88	53699	-3080
651,42	-19	88	57325	-1672
708,42	-19	88	62341	-1672
722,22	-35	88	63555	-3080
792	29	88	69696	2552
792	-29	88	69696	-2552
celkem		2288	891956	-15857,6
Σ F · x/ΣF	poloha v x	389,841		
Σ F · y/ΣF	poloha v y	-6,9308		

Kompletní težiště pružin			
Σ F · x/ΣF	poloha v x	379,97	mm
Σ F · y/ΣF	poloha v y	1,31	mm

Příloha 6

Tab. 7. Technicky ekonomické výpočty část 1

zkratka	název vzorec	popis	hodnoty	výsledek	jednotky
kc	koeficient využití materiálu	sp- plocha materiálu [mm ²]	7000		
	$kc=S_p/S_s$	ss- plocha součásti [mm ²]	3803,5	1,84	-
Q	roční množství vyrobených kusů			1 600 000,00	ks
m _{sv}	Hmotnost svitku	Dsv [mm]	900		
	$m_{sv}=\pi \cdot (D_{sv}^2-d_{sv}^2)/4 \cdot B_{sv} \cdot \rho$	dsv [mm]	500		
		pi	3,14		
		šířka pasu [mm]	125		
		ρ	8,8	483,56	Kg
n _{ks}	Počet výstřžků z jednoho svitků	mSV	483,56		
	$n_{ks}=m_{sv}/m_{krok}$	m krok v kg	0,0924	5 233,33	ks
n _s	Celkový počet svitků	Q	1600000		
	$n_s=Q/n_{ks}$	n ks (zaokr. dolů)	5233	305,75	ks
m _{cs}	Celková hmotnost svitků	msv	483,56		
	$m_{cs}=m_{sv} \cdot n_s$	počet svitků ns	306	147 969,36	Kg
N _M	Náklady na nákup svitků	mCS	147969,36		
	$N_M=m_{cs} \cdot n_s$	cena za kg	225,5	33 367 090,68	Kč
m _{sou}	Hmotnost jedné součásti	s- plocha součásti	3803,85		
	$m_{sou}=s_s \cdot t \cdot \rho$	t - tloušťka	1,5		
		ρ	8,8	0,05	kg
m _{c sou}	Celková hmotnost součástí	Q	1600000		
	$m_{c sou}=m_{sou} \cdot Q$	msou	0,05021082	80 337,31	kg
m _{co}	Celková hmotnost odpadu	mCS	147969,36		
	$m_{co}=m_{cs} \cdot m_{c sou}$	mc sou	80337,312	67 632,05	kg
z _o	Zhodnocení odpadu	výkupní cena [Kč]	115		
	$z_o=m_{co} \cdot 115$	mCO	67632,048	7 777 685,52	Kč
N _{CM}	Celkové náklady na materiál	NM	33367090,68		
	$N_{CM}=N_M \cdot z_o$	zO	7777685,52	25 589 405,16	Kč
N _{M1}	Náklady na materiál jedné součásti	NCM	25589405,16		
	$N_{M1}=N_{CM}/Q$	Q	1600000	15,99	Kč
	Náklady na mzdy		hodnoty		
t _p		tp - přípravný čas [hod]	1,5		
t _v		tv - výrobní [hod]	5,5		
t _{kont}		t kont. [hod]	0,5		
n _{SH}	Počet vyrobených součástí za hodinu n sh	počet zdvihů min ⁻¹	150		
	$n_{SH}=n_z \cdot 60$			9 000,00	ks/hod
n _{SS}	Počet vyrobených součástí za směnu	nSH	9000		
	$n_{SS}=n_{SH} \cdot t_v$	tv	5,5	49 500,00	ks/směnu
n _{SM}	Počet směn	Q	1600000		
	$n_{SM}=Q/n_{SS}$	nSS	49500	32,32	směn
n _H	Počet hodin potřebných na výrobu	Q	1600000		
	$n_H=n_{SM} \cdot (t_p \cdot t_v \cdot t_{kont.})$	nSM	33		
		tv	5,5		
		tp - přípravný čas	1,5		
		t kont	0,5	247,50	hod
N _{PMZ}	Přímé náklady na mzdy	hodinová mzda	90		
	$N_{PMZ}=n_H \cdot w$	nH	247,5	22 275,00	Kč
N _{OPMZ}	Ostatní přímé náklady mzdy	kp 9% a 25%	0,34		
	$N_{OPMZ}=K_p \cdot N_{PMZ}$		0,09		
			0,25		
		NPMZ	22275	7 573,50	Kč
N _{CPMZ}	Celkové přímé náklady na mzdy	NPMZ	22275		
	$N_{CPMZ}=N_{PMZ} \cdot N_{OPMZ}$	NOPMZ	7573,5	168 699 712,50	Kč
P _C	Celkový výkon strojů	PI 37 kw	37		
	$P_C=P_I+P_{PZ}$	přikon ostatních zař. 2,5 kW	2,5	39,50	kW
N _{el}	Náklady na spotřebovanou energii	zvolená 3,2 kč KW	3,2		
	$N_{EL}=P_C \cdot n_H \cdot C_{EL}$	nH	247,5		
		Pc	39,5	31 284,00	Kč

Tab. 8. Technicky ekonomické výpočty část 1

N_R	Výše režijních nákladů zadané součásti	výrobní režie 115% =>VR	1,5	388 009 338,75	Kč
	$N_R = (V_R + S_R) \cdot N_{CPMZ}$	správní režie 80% =>SR	0,8		
		NCPMZ	168699712,5		
N_{CMZ}	Celkové náklady na mzdy	NR	388009338,8	556 709 051,25	Kč
	$N_{CMZ} = N_{CPMZ} + N_R$	NCPMZ	168699712,5		
NN	Náklady na nástroj	NN		850 000,00	Kč
N_V	Náklady na výrobu jedné součásti $N_V = N_{CMZ} + N_N / Q + N_{M1}$	NCMZ	556709051,3	364,47	Kč
		NN	850000		
		Q	1600000		
		NM1	15,99337823		
C_C	Celková cena jedné součásti	NV	364,4677853	473,81	Kč/ks
	$C_C = N_V \cdot K_z$	zisk 40% Kz=1,4	1,3		
FN	Fixní náklady $FN = N_N + N_{CMZ} - N_{CPMZ}$	NN	850000	388 859 338,75	Kč
		NCMZ	556709051,3		
		NCPMZ	168699712,5		
VN	Variabilní náklady	NM1	15,99337823	121,43	Kč/ks
	$VN = N_{M1} + N_{CPMZ} / Q$	NCPMZ	168699712,5		
		Q	1600000		
Z	Bod zvratu Z $Z = FN / C_C - VN$	FN	388859338,8	1 103 530,80	ks
		CC	473,8081208		
		VN	121,4306985		